



TITLE:

エージェント技術のコミュニケーションへの応用に関する研究(
Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

服部, 文夫

CITATION:

服部, 文夫. エージェント技術のコミュニケーションへの応用に関する研究. 京都大学, 2001, 博士(情報学)

ISSUE DATE:

2001-03-23

URL:

<https://doi.org/10.11501/3183635>

RIGHT:

エージェント技術の
コミュニケーションへの応用に関する研究

服 部 文 夫

内容梗概

インターネットに代表されるネットワークの発展にともなって、多様かつグローバルなコミュニケーションが可能となっている。しかし逆に人間の情報処理能力の限界から、流通する情報量と消費可能な情報量の間のギャップはますます広がっていくことが予想される。今後、ネットワークが、単なる通信手段だけでなく、ネットワーク上の様々な社会活動を支えるインフラとして発展していくときに、ユーザの負担を軽減し、より円滑なコミュニケーションや活動を支援する機能の実現が求められている。

本論文では、エージェント技術の適用によってネットワーク上のコミュニケーションを支援するシステムーエージェント通信システムーの構築方法について論じる。エージェント通信システムは、人工知能、知識処理、分散コンピューティングなどの研究の成果であるエージェント技術を活用して、ネットワーク上の人間の社会活動を支援し、コミュニケーションを円滑化するインフラストラクチャを構築しようというものである。このインフラストラクチャはサービスそのものではなく、サービスと利用者相互間を柔軟に結び付けるための仲介者としての役割を果たすものである。その実現にあたっては、ネットワークが巨大でかつ地理的に分散していること、オープンで常にダイナミックに変貌していること、サービスや利用者の目的や行動が多様であることを考慮すると、自律的なエージェントソフトウェア群が協調して動作する実現形態が優れている。

エージェント通信システムのアーキテクチャとしては、柔軟性、拡張性などの点から分散型のアーキテクチャが望ましい。コミュニケーションの要素である目標の認識、相手の同定、時間の同期、手段の調整といった機能を分担する方法として、パーソナルエージェント、仲介エージェント、サーバエージェントからなる3層構成のマルチエージェントシステムとしての実現形態を提案し、それぞれの必要機能と実現方法について述べる。

さらに、エージェント通信システムの具体的な適用例として、情報伝達、情報統合、協調活動といったコミュニケーション形態に応じた幾つかの応用システムの実現方法とその評価について述べ、エージェント通信によるコミュニケーションの有効性を示す。まず、情報伝達への支援として、もっとも基本的なコミュニケーション手段である電子メールについ

て、緊急メールへの対応を行うインテリジェントメールシステムの実現方法を示す。ここではユーザの状況や要望を把握するパーソナルエージェントと、メール配送を司る仲介エージェントの協調による支援機能の実現方法を述べる。

続いて、情報統合への支援の実現例として、ネットワーク上の異種情報を統合するインテリジェントページと、その発展形であるモバイルインフォサーチについて述べる。ここでは、仲介エージェントによってネットワーク上に散在している情報を統合してユーザに提示可能であることを示し、実験によってその有効性を確認する。また、情報統合においては統合のキーとなる情報としてオントロジが必須である。有効なオントロジ情報としてイエローページ、および位置指向 **Web** 探索ロボットによる実現方法について述べる。

より深いコミュニケーション形態である協調活動への支援については、地域や時間に限定されないネットワークコミュニティの支援を取り上げる。コミュニティのライフサイクルに応じて、コミュニティの形成および活動の支援方法について検討する。まず、仲介エージェントが人と人との間の興味の近さを視覚化することで、コミュニティの形成を支援する方法を提案し、実験によってその有効性を示す。また、ネットワーク上での議論の状況を視覚的に表示することで、議論の活性化が可能であることを示す。人間を中心とした協調活動の支援においては、パーソナルエージェントによる個人情報の獲得と、それを集約して視覚化する手法が有効である。

最後に、これらのエージェント通信サービスが社会的にどのように受け入れられるかを検証するために行った実証実験の結果について述べる。国際会議というコミュニティに対して、携帯端末によるモバイルコンピューティングサービスを提供し、様々な情報サービスの利用状況を通信ログから分析する。その結果、国際会議の進行と情報サービスの利用に相関関係があることが明らかになり、国際会議という小さなコミュニティではあるが、エージェント通信が社会的に受け入れられる可能性が示される。

目次

第 1 章 序論1

1.1 研究の目的..... 1

1.2 研究の位置付け 2

1.2.1 エージェント技術研究としての位置付け 2

1.2.2 コミュニケーション支援技術研究としての位置付け 4

1.3 研究の内容..... 6

第 2 章 従来の研究状況9

2.1 はじめに 9

2.2 情報伝達の支援に関する研究..... 10

2.2.1 コミュニケーション手段の選択 10

2.2.2 電子メールの配送制御 11

2.3 情報統合の支援に関する研究..... 12

2.3.1 情報の所在発見の支援..... 14

2.3.2 情報抽出の支援..... 17

2.3.3 情報統合の支援..... 19

2.4 協調活動の支援に関する研究..... 20

2.4.1 フォーマルな活動の支援 21

2.4.2 インフォーマルな活動の支援 22

2.5 まとめ..... 24

第 3 章 エージェント通信27

3.1 はじめに 27

3.2 エージェント通信のコンセプト 27

3.3 エージェント通信システムのアーキテクチャ..... 31

3.4 まとめ..... 37

第 4 章 エージェント通信による情報伝達の支援	39
4.1 はじめに	39
4.2 電子メールサービスの問題点とエージェントの役割	39
4.3 インテリジェントメールサービスの実現	40
4.4 まとめ	43
第 5 章 エージェント通信による情報統合の支援	45
5.1 はじめに	45
5.2 インテリジェントページ	45
5.2.1 アーキテクチャ	45
5.2.2 実験	48
5.3 モバイルインフォサーチ	50
5.3.1 アーキテクチャ	50
5.3.2 実験	53
5.4 まとめ	55
第 6 章 エージェント通信による協調活動の支援	57
6.1 はじめに	57
6.2 ネットワークコミュニティのライフサイクルと活動支援	57
6.3 コミュニティ形成支援 -Community Organizer-	61
6.3.1 システムの概要	61
6.3.2 潜在的なコミュニティの可視化	63
6.3.3 キーワードの重み付けのフィードバック	64
6.3.4 協調フィードバック	66
6.3.5 協調フィードバックの実験と評価	67
6.3.6 Community Organizer の評価実験	69
6.4 コミュニティ活動支援 -CommunityBoard-	75
6.4.1 システム概要	75
6.4.2 議論への参加支援	79
6.5 まとめ	83

第 7 章 実証実験 -国際会議におけるコミュニケーション支援	85
7.1 はじめに	85
7.2 ICMAS'96 Mobile Assistant Project	85
7.2.1 提供サービス	86
7.2.2 システム構成	90
7.2.3 ログデータの解析	91
7.3 サービスの利用に関する解析と考察	92
7.3.1 携帯端末の利用状況	92
7.3.2 各サービスの利用状況	94
7.3.3 サービス利用の相関関係	97
7.3.4 アンケート結果	99
7.4 データ通信に関する解析と考察	100
7.4.1 端末保有データ量とサーバアクセス回数間のトレードオフ	100
7.4.2 通信の中断	103
7.5 まとめ	107
第 8 章 結論	109
8.1 本研究のまとめ	109
8.2 エージェント通信の発展に向けて	110
謝辞	113
研究発表一覧	114
[著書]	114
[学術論文]	114
[国際会議(査読付き)]	115
[国内会議(査読付き)]	117
[解説]	117
[研究会等(査読なし)]	117

図一覧

図 1.1 エージェントとオブジェクトの概念	2
図 1.2 ネットワーク上のコミュニケーションの発展過程	5
図 2.1 DUET のシステム概念 [西が谷 96]	11
図 2.2 インターネット上の情報の統合手順	13
図 2.3 メタサーチエンジン	15
図 2.4 Letizia の画面例 [Lieberman95]	16
図 2.5 レコメンダシステムのアーキテクチャ	18
図 2.6 サプライチェーン管理システムにおけるエージェント構成 [Barbuceanu94]	21
図 2.7 KC0 における知識の仲介メカニズム [武田 94]	23
図 2.8 CoMeMo における連想構造 [前田 97]	24
図 3.1 コミュニケーションの原点へ	29
図 3.2 エージェント通信のコンセプト	30
図 3.3 エージェント通信システムのアーキテクチャ	33
図 3.4 パーソナルエージェントのアーキテクチャ	35
図 3.5 サービスエージェントのアーキテクチャ	35
図 3.6 仲介エージェントのアーキテクチャ	36
図 4.1 インテリジェントメールの機能構成	41
図 4.2 インテリジェントメールシステムの構成	42
図 4.3 インテリジェントメール画面例	43
図 5.1 インテリジェントページのアーキテクチャ	46
図 5.2 インテリジェントページの構成概要	47
図 5.3 インテリジェントページの検索結果例	48
図 5.4 モバイルインフォサーチの構想	51
図 5.5 位置指向のメタ検索	52
図 5.6 位置指向のロボット型検索	53
図 5.7 モバイルインフォサーチ実験サービス	54
図 5.8 利用されたサービスの種類	54

図 6.1 ネットワークコミュニティ	58
図 6.2 ネットワークコミュニティのライフサイクル	59
図 6.3 ネットワークコミュニティサポートシステムのアーキテクチャ	60
図 6.4 Community Organizer のユーザビューの例	62
図 6.5 フィードバックによる適合率と再現率の変化	68
図 6.6 単独／協調フィードバックの比較	69
図 6.7 実験で用いた2種類の可視化手法	70
図 6.8 語らい支援システム Community Board の画面イメージ	77
図 7.1 Action Navigator の画面例.....	87
図 7.2 InfoCommon の画面例	88
図 7.3 Community Viewer の画面例	89
図 7.4 ICMAS'96 Mobile Assistant Project のサービスシステムの構成	90
図 7.5 クライアントシステムの構成.....	91
図 7.6 携帯端末の利用状況	93
図 7.7 Paseo サービスとの1日の利用特性の比較	94
図 7.8 サービス利用状況	96
図 7.9 端末配布の経過	97
図 7.10 利用回数特性	101
図 7.11 端末上に配置したデータ量とサーバアクセスの関係	103
図 7.12 データ転送特性	104
図 7.13 再接続確率の時間特性	107

表一覧

表 1.1 エージェントとオブジェクトの比較	3
表 1.2 コミュニケーションにおける問題点.....	4
表 1.3 応用システムと解決すべき問題点.....	6
表 2.1 従来の研究とコミュニケーション支援対象	25
表 3.1 エージェント通信システムの機能配置方式	31
表 5.1 インテリジェントページにおける商店情報.....	49
表 5.2 インテリジェントページで収集された商店情報の内容	50
表 6.1 アンケートへの回答(8段階評価)	72
表 6.2 ログファイルの解析結果	73
表 6.3 視覚化の統計	82
表 7.1 ICMAS'96 Mobile Assistant Project における提供サービス一覧	86
表 7.2 各種サービス間の相関関係.....	98
表 7.3 参加者のコメント	99
表 7.4 各種情報案内サービスにおけるデータ配置	102
表 8.1 本研究の到達点と今後の課題.....	111

第1章 序論

1.1 研究の目的

本研究の目的は、エージェント技術の適用によってネットワーク上のコミュニケーションを支援するシステムーエージェント通信システムーを構築することである。

インターネットに代表されるネットワークの発展にともなって、多様かつグローバルなコミュニケーションが可能となっている。しかし逆に人間の情報処理能力の限界から、流通する情報量と消費可能な情報量の間のギャップはますます広がっていくことが予想される。今後、ネットワークが、単なる通信手段だけでなく、ネットワーク上の様々な社会活動を支えるインフラとして発展していくときに、ユーザの負担を軽減し、より円滑なコミュニケーションや活動を支援する機能がネットワークに求められるものと思われる。

エージェント通信システムは、人工知能、知識処理、分散コンピューティングなどの研究の成果であるエージェント技術を活用して、ネットワーク上の人間の社会活動を支援し、コミュニケーションを円滑化するインフラストラクチャを構築しようというものである。本論文ではエージェント通信のコンセプトと基本的なアーキテクチャを提案する。また、具体的なコミュニケーション形態に応じた適用方法を議論するために、情報伝達への応用、情報統合への応用、協調活動への応用を取り上げる。さらに、実証実験として国際会議支援への適用例について述べる。最後にエージェント技術の適用方法とその効果について考察する。

1.2 研究の位置付け

1.2.1 エージェント技術研究としての位置付け

エージェントには様々なとらえ方がある[石田 95]. 本論文では, エージェントを現実世界のモデル化の手法と捉え, オブジェクトとの対比から以下のように定義する.

- エージェント: 人間のような動作主体をモデル化したもの
- オブジェクト: 道具や人工システムのような動作対象をモデル化したもの

すなわち, オブジェクトの動作原理は受動的であり, 外部からの指示に基づいて決められた処理を行う. これに対して, エージェントの動作原理は能動的であり, 外部の状況を認識して自律的に処理を実行する. 図 1.1にエージェントとオブジェクトの概念を, また表 1.1にエージェントとオブジェクトの比較を示す.

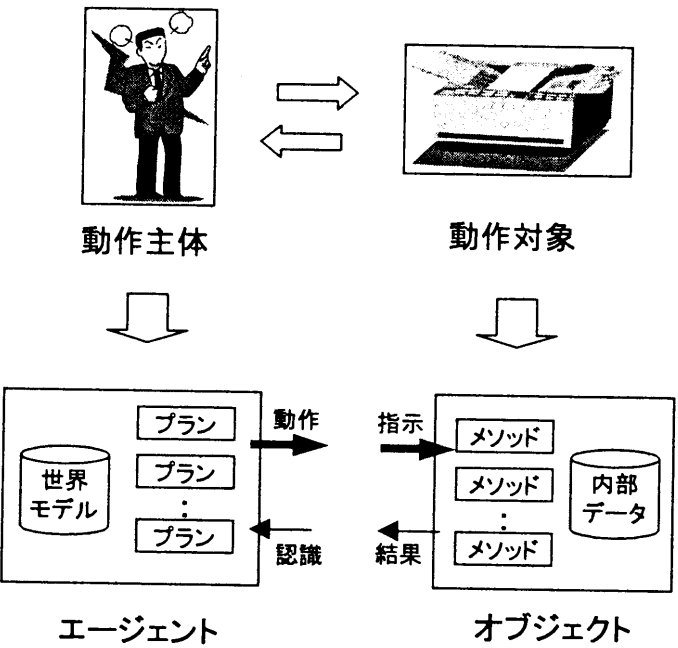


図 1.1 エージェントとオブジェクトの概念

表 1.1 エージェントとオブジェクトの比較

	モデル化の対象	動作原理	メッセージ	基本構造	内部の隠蔽
エージェント	動作主体 (人間など)	能動的 (状況認識 →動作プラン)	発行側主体 で規定	プラン + 外界モデル	あり
オブジェクト	動作対象 (道具など)	受動的 (動作指示 →メソッド実行)	受信側主体 で規定	メソッド + 内部データ	あり

表 1.1に示したような特徴から, オブジェクトは, バンキングシステムに代表されるような, 人間が対象として利用するシステムのモデル化に適しているのに対し, エージェントは, オフィスシステムや仲介サービスなどの, 人間を含むシステムのモデル化に適していると考えられる. 本研究では, 人間と人間とのコミュニケーション, あるいは人間を中心とする社会活動としてのコミュニケーションの支援という立場から, エージェントによるモデル化に着目している.

一方, エージェントの実現技術の面からは移動エージェント, 知的エージェント, 協調エージェントの3種類に分けて考えることができる. 移動エージェント(Mobile Agent)は, 分散コンピューティングの技術の流れをくむものであり, ネットワーク上を移動して実行可能なプログラムである. 知的エージェント(Intelligent Agent)は人工知能の研究から出てきた. 自分の環境を知覚して自律的に行動を決定できる能力, 環境を学習して適応する能力などの実現が目標である. 協調エージェント(Cooperative Agent)は, 人工知能の一分野である分散人工知能の研究の流れにあるもので, 複数のエージェントから成り立つマルチエージェントシステムの構成要素としてとらえられる.

本研究はエージェントをモデル化手法としての側面からとらえており, エージェントという概念を導入することによって, ネットワーク社会におけるコミュニケーションを円滑化, 強化するシステムの実現方法を明らかにする. さらに, この検討を通じて, エージェント実現技術の適用方法を明らかにするとともに, エージェントの実現技術に対する要求条件を明確化する.

1.2.2 コミュニケーション支援技術研究としての位置付け

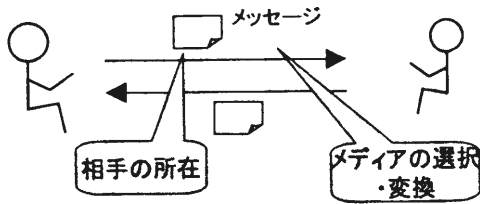
ネットワークを介したコミュニケーションの形態は、初期の単なる情報を伝達するだけのものから、インターネットを活用した電子商取引やコミュニティ活動などの仮想的な社会活動と言えるものへと発展してきている。コミュニケーションの形態が高度になるにつれて、様々な問題が生じてきており、コミュニケーションの円滑化、活発化を阻害している。これらの問題を、エージェント技術の導入によって支援し、解決しようというのが本研究の狙いである。

図 1.2にネットワーク上のコミュニケーションの発展過程とそこに生じてくる問題点を示す。これらの問題点はネットワークを介して行うコミュニケーション活動そのものというよりは、活動を行う前段として様々なコミュニケーション形態に共通するものであると考えられる。問題点を整理し、抽象化すると、表 1.2のようになる。

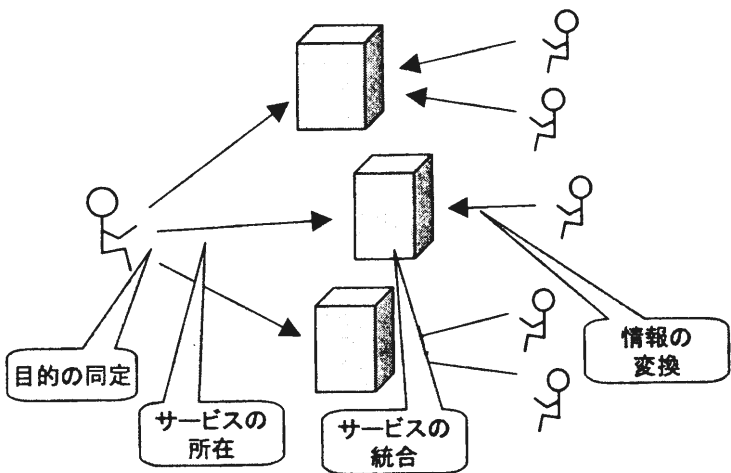
表 1.2コミュニケーションにおける問題点

項番	問題点	内 容
1	目標の認識 what/why	ユーザの持つあいまいな要望を把握し、ユーザが最終的に必要とする処理のゴールを同定する。
2	相手の同定 who/where	ネットワーク上からコミュニケーションをする相手とそのロケーション(アドレス)を同定する
4	時間の同期 when	非リアルタイムのコミュニケーションの場合に、コミュニケーションをとるタイミングを調整する
5	手段の調整 how	メディアの選択、情報の変換、情報の統合、交渉など、コミュニケーションにおけるギャップを埋める

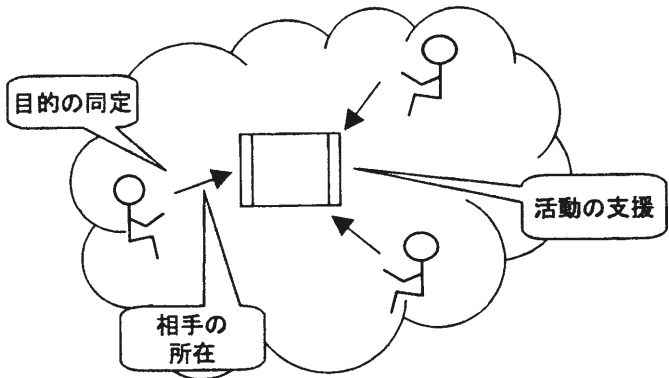
本研究では、コミュニケーションの発展過程に応じた幾つかの応用システムを取り上げ、その中でエージェント通信システムによってこれらの問題点をどのように解決していくか、またそのためにはどのようなエージェント機能が必要とされるかを検討していく。表 1.3に応用システムと問題点との対応を示す。



(a) 情報の伝達



(b) 情報の蓄積とサービス提供



(c) 協調活動

図 1.2 ネットワーク上のコミュニケーションの発展過程

表 1.3 応用システムと解決すべき問題点

問題点	目標の認識	相手の同定	時間の同期	手段の調整
情報の伝達 (インテリジェントメール)	○ 緊急性の認識	◎ 所在の把握	◎ 緊急時の転送	○ メディア選択
情報蓄積／サービス提供 (位置情報による情報統合)	◎ 検索目的の理解	◎ 情報の所在		◎ 情報の統合
協調活動 (ネットワークコミュニティ支援)		◎ コミュニティ形成	○ 議論の経過	◎ 活動の活性化
実証実験 (国際会議支援)	○ 検索目的の理解	◎ コミュニティ形成	○ 最新情報の共有	◎ 情報の統合

1.3 研究の内容

本研究では、まずコミュニケーションを支援するための共通基盤となるエージェント通信のコンセプトを提案し、エージェント技術を適用したアーキテクチャを提案する。このコンセプトおよびアーキテクチャに基づいて、コミュニケーションの発展過程に応じた幾つかの応用システムの試作を行い、これによって以下の2点を考察する。

- エージェント通信システムによるコミュニケーションの支援方法を明らかにする。
- そのためにエージェン通信システムとして具備すべき機能を検討する。

具体的な研究項目を以下に示す。

(1) エージェント通信のサービスコンセプトとアーキテクチャの提案

エージェント技術を適用した、新しいコミュニケーションサービスとしてのエージェント通信のコンセプトを提案するとともに、その実現アーキテクチャを提案する。

(2) エージェント通信による情報伝達の支援

エージェントによる状況依存の知的な配送を行う方式を提案する。

(3) エージェント通信による情報統合の支援

ネットワーク上に散在する情報案内サービスの統合を支援する。移動中のユーザが持つ携帯端末を用いてその周辺の情報を収集することを考え、位置情報をもとに各種情報案内サービスから情報を収集し、統合してユーザに提供する。ユーザの目的の把握と情報統合のために、イエローページの情報をオントロジとして用いる。

(4) エージェント通信による協調活動の支援

ネットワーク上の仮想コミュニティの活動支援を取り上げ、ネットワーク上での出会いの支援、およびネットワーク上での議論の支援を行うシステムを試作し、エージェントによる支援方法について考察する。

(5) 実証実験

(2)から(4)の成果をベースに、大規模な実証実験として、国際会議の支援を取り上げる。通信ログを解析することによって、エージェント通信によるコミュニケーション支援サービスが実際にユーザにどのように受け入れられるかを検証する。

第2章 従来の研究状況

2.1 はじめに

本章の目的は、エージェント技術のコミュニケーションへの応用に関する研究状況を概観し、本論文の研究内容の位置付けを明確にすることである。

情報通信技術によるコミュニケーションは電話サービスから始まった。しかし、コンピュータ技術やネットワーク技術の発達にともなってコミュニケーションの質は以下に示すように大きく変わってきている。

- (1) 空間の克服：電話サービスに代表されるように、離れた場所にいる人と自由にコミュニケーションできる手段の提供。
- (2) 時間の克服：ネットワーク内に情報蓄積処理機能を持たせることにより、情報を発信する人と情報を受信する人が自由かつ非同期にコミュニケーションできる手段の提供。
WWW はその典型的な例である。
- (3) 社会活動とのギャップの克服：空間と時間が克服されても、人間の日常的な社会活動とネットワークを用いたコミュニケーションとの間には依然としてギャップが存在し、人間が様々な形で介入する必要がある。将来のサイバー社会においては、コミュニケーションが社会活動の一部として組み込まれ、シームレスに動作することが望まれる。

上記の(1)から(3)のそれぞれのステップにおいて、エージェント技術による支援が考えられる。例えば(1)では、コミュニケーション相手の検索・同定や最適な通信手段の選択などである。(2)では、情報の所在の探索や情報の編集などが考えられる。(3)では、ネットワークコミュニティなどの社会活動をスムーズに行うために、ネットワークが何らかの自律的な機能を持つ必要があり、エージェント技術がより重要な意味を持つてくる。

本章では、それぞれのステップに対応して、(1)では情報伝達の支援に関する研究、(2)では情報統合の支援に関する研究、(3)では協調活動の支援に関する研究を取り上げ、従来の研究状況を概観するとともに、本論文の位置付けを明確にする。

2.2 情報伝達の支援に関する研究

情報伝達における究極の目標は、いつでもどこでもだれとでもコミュニケーションできるようにすることである。電話だけでなく、FAXや電子メールなどの登場により、コミュニケーションの自由度やコミュニケーションできる内容は飛躍的に向上している。また、無線通信技術の進歩による携帯電話の登場は、場所の制約を大幅に緩和している。しかし、これらの通信手段は個別に発展してきたものであり、それぞれ得失が存在する。現実には、ユーザがその時の状況を判断して最適の通信手段を選択したり、その通信手段で足りないところを別の手段で補ったりしている。

ここでは、コミュニケーション手段の選択と、電子メールの配送制御におけるエージェント技術による支援に関して、研究状況を報告する。

2.2.1 コミュニケーション手段の選択

コミュニケーションの手段には、固定電話、携帯電話、FAX、電子メールなど様々な手段がある。また、利用できる端末も電話機、パソコン、携帯情報端末など多様である。ユーザはこれらの手段をその時の状況に応じて選択することを強いられる。ユーザにとっては、それぞれの使用方法だけでなく、相手のアドレスや番号を管理する必要がある。さらに大きな問題となるのは、コミュニケーション相手の状況であり、ユーザは何らかの想定に基づいて手段の選択を行わざるを得ない。

飯田らによる DUET[Iida95][西ヶ谷 96]は、パーソナルエージェントを利用してユーザに最適のコミュニケーション手段を提供するシステムである。システムの概念図を図 2.1に示す。DUET ではユーザ毎にパーソナルエージェントPAが割り当てられ、各ユーザの個人情報管理している。PAはインターネット上に構築された分散プラットフォーム上に存

在し、相互に協調しながらユーザ間にコミュニケーション手段を提供する。ユーザはそれぞれのエージェントに連絡をとりたい相手を指定すれば、エージェントが相互に連絡を取り合って最適な通信手段、例えばオフィスにいれば電話、会議中だったら電子メール、などを選択する。したがって、ユーザは連絡手段や相手の電話番号などにわずらわされず、コミュニケーションをとることができる。ユーザはそれぞれのエージェントのサービススクリプトを変更することによって、他に影響を及ぼさずに自分向けにサービスをカスタマイズすることができる。また、個別のユーザ情報をエージェント内にカプセル化しておくことで、個人情報のセキュリティ確保やプライバシー保護が可能となる。さらに、ユーザの移動にともなってエージェントをネットワーク内で移動させることで、ユーザはロケーションにかかわらず本サービスを受けることができる。本システムはエージェント言語 April を利用して開発されている。

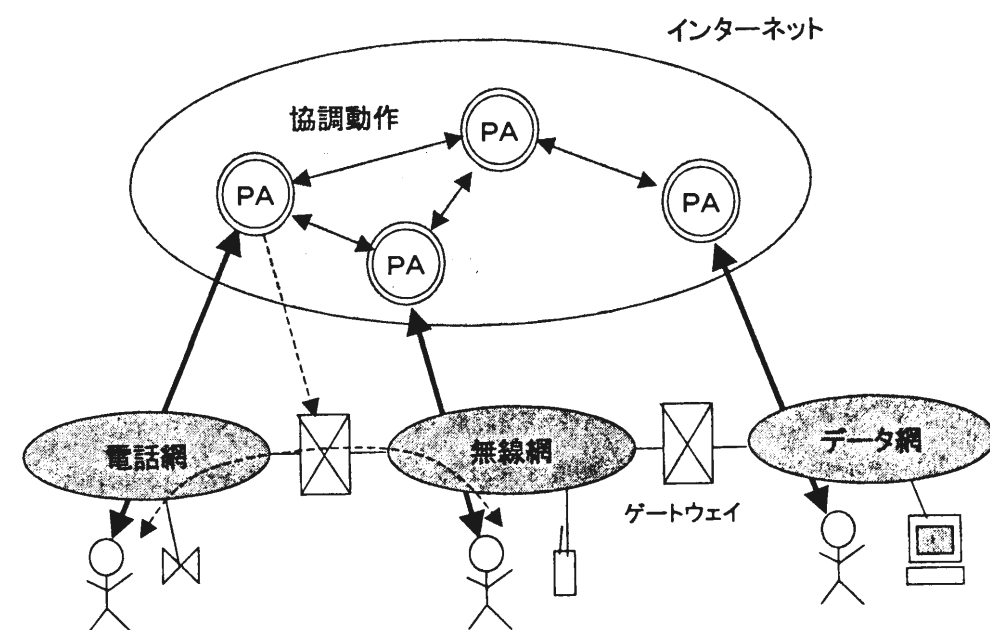


図 2.1 DUET のシステム概念 [西が谷 96]

2.2.2 電子メールの配送制御

電子メールは、メールアドレスさえわかれば、誰にでも簡単にメールが送ることが可能

であるし、同報も極めて簡単である。いつでも好きなときにメールを送ることができ、好きなときにメールを読むことができる。このことは電子メールの大きな長所でもあるとともに、短所でもある。例えば、受信者にとっては雑多なメールが大量に届くこともあり、メールを整理して必要なメールを読むための作業が大変になる。また、送信者にとっては送ったメールを相手を読んだかどうか分からない、といった問題もある。

そこで、エージェントによってメールの配送状況を監視し、ユーザに代わって様々な処理を行うことが考えられている。MagicMail™ はモバイルエージェント言語 Telescript™ [White94] によって記述されたメールシステムであり、米国で AT&T 社による PersonaLink™ サービス、日本ではNTTファン企画社による Paseo サービスとして提供された(いずれも既にサービスを終了している)。MagicMail™ ではメールの内容に応じて転送、削除などの配送制御を行うこと、受信したメールを自動的に分類、保管することができる。本システムでは、エージェントがメールの到着を監視し、ユーザが設定するメールボックスルールに応じて配送の制御を行う。ユーザは、ルールを書き換えることで、配送方法をカスタマイズ可能である。ルールの条件としては、送信者名、サブジェクト、特定のキーワードを含む、などの指定が可能であり、ルールのアクションとしては、転送、削除、ページの呼び出し、などの指定ができる。

2.3 情報統合の支援に関する研究

WWW の普及により、インターネットを介して多様かつ大量の流通するようになった。公開されている Web ページの数は、1999年2月の時点で日本国内(jpドメイン)だけでも約3000万ページ[インプレス 99]、全世界では8億ページを超える[Lawrence99]と推定されている。情報統合はこれらのインターネット上の異種分散情報を抽出、組織化することによって、情報の使い勝手を向上し、さらに情報の価値を増幅しようというものである。

インターネットからの情報統合の手順をモデル化してみると、概ね次のようなステップになると思われる(図 2.2参照)。

Step1 情報の所在の発見

欲しい情報がインターネット上のどこにあるかを探す。ユーザの要求条件がはっきりし

ているか否かでさらに2つに分けられる。

Step1-1 リソース検索

ユーザの要求条件がはっきりしている場合であり、要求条件に対応するキーワード等を入力することによって目的とするリソースの所在(URL)を特定する。

Step1-2 ブラウジング

一方、ユーザの要求条件がはっきりしない場合には、ユーザ自身がウェブブラウザを使って情報空間を散策しながら、興味のある情報を発見する。

Step2 情報の抽出

情報の所在が特定された時点で情報の中身にアクセスすることになるが、この時に、ユーザの要求や好みに合致するように、情報を抽出し編集することが必要となる。

Step3 情報の統合

情報が一カ所だけで得られるとは限らないので、複数の情報源にアクセスして、それらの情報をユーザの要求条件に合致するように統合することが必要になる。異種の情報源を統合するためには、情報形式の変換が求められる。

以下、それぞれのステップ毎に、エージェントによる支援技術の動向について述べる。

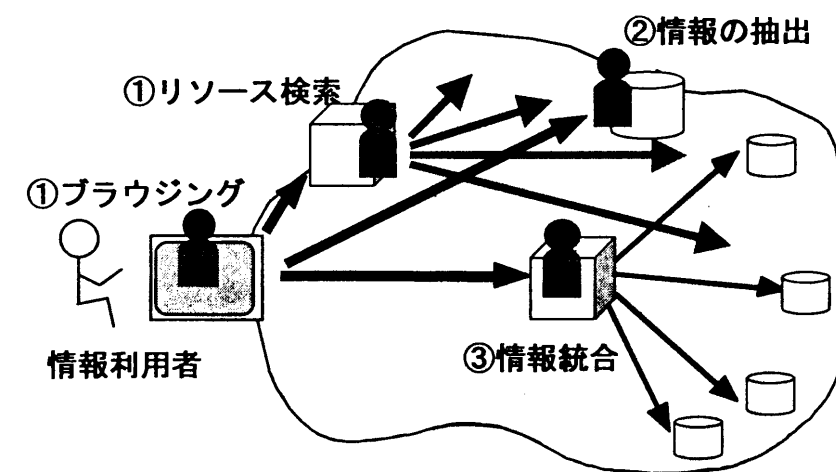


図 2.2 インターネット上の情報の統合手順

2.3.1 情報の所在発見の支援

インターネットにおける WWW のリソース検索は一般的にサーチエンジンによって行われている。サーチエンジンは、動作の仕組みから大きくディレクトリ型とロボット型の大きく二つに分類することができる。ディレクトリ型サーチエンジンは、情報(URL)を予めカテゴリに分類し格納する。

カテゴリは通常階層構造(例えばスポーツというカテゴリは、野球、サッカーといったサブカテゴリに分けることができる)を持っており、情報はこの分類に従い整理されて格納される。ディレクトリ型では、情報を格納する際に登録する URL に対して本文とは別にキーワードや概要を付与し、これらを使用して検索を行う。ディレクトリ型は、情報が分類されているため、比較的使いやすい反面、分類を人手で行う必要があるため、手間がかかるとともに扱える情報量に制約を受けることとなる。ディレクトリ型の代表的なものには **Yahoo!** や **NTT Directory** などがある。

一方、ロボット型サーチエンジンは、**Web ロボット**と呼ばれるプログラムにより、インターネット上で公開されている **Web ページ**の情報を取得し、この情報を全文検索技術を使用して検索する。ロボット型サーチエンジンでは、公開されている情報そのものを検索の対象としているため、適当な語を検索語として使用しないと大量の検索結果が返る場合が多い。代表的なものには、**Lycos**, **AltaVista**, **goo**, **Infoseek** などがある。**Web ロボット**は自律的にリソースを探索するソフトウェアであり、エージェントの一種であるといえることができる。一般的な **Web ロボット**は、一定のアルゴリズムによって **WWW** のハイパーリンクをたどり、カタログDBに記録する。この時、どのように探索するか(一般的には幅優先探索)、どのような情報を抽出するか(ヘッダ、タイトル、本文、…)によって、**Web ロボット**の特徴が出てくる。日本においても数多くの **Web ロボット**が実現されている。

NTTで開発された **TITAN**[林 96]は多言語による検索や、探索過程をサポートするインタラクティブインタフェースを実現している点に特長がある。**TITAN**では自然文による検索要求が可能である。入力された文は **TITAN**によって解析され、キーワード群が抽出される。さらにキーワードは他の言語に翻訳され、キーワードに加えられる。(例えば検索対象に米国が含まれていれば英語に翻訳される。)一方、**Web ロボット**はアクセスした **Web ページ**の言語コードを自動的に判定する。判定にはそれぞれの言語でのコード出現頻度等の特徴が利用される。検索結果には言語の種類を表わす国旗のアイコンと、ページの特徴(リンクが多いページか情報そのものが多いページか等)を表わすアイコンが

付け加えられる。

最近のように **WWW** が巨大化してくると、サーチエンジンを使ってもなかなかユーザの意図するような結果が得られないことも多い。このような問題に対応するものとして、メタサーチエンジンが提案されている。メタサーチエンジンは、複数のサーチエンジンに対して検索要求を発行し、その結果をマージして表示する一種の仲介サービスをおこなうエージェントである。代表的なメタサーチエンジンとして、**MetaCrawler**[MetaCrawler]がある。メタサーチエンジンの構成を図 2.3に示す。

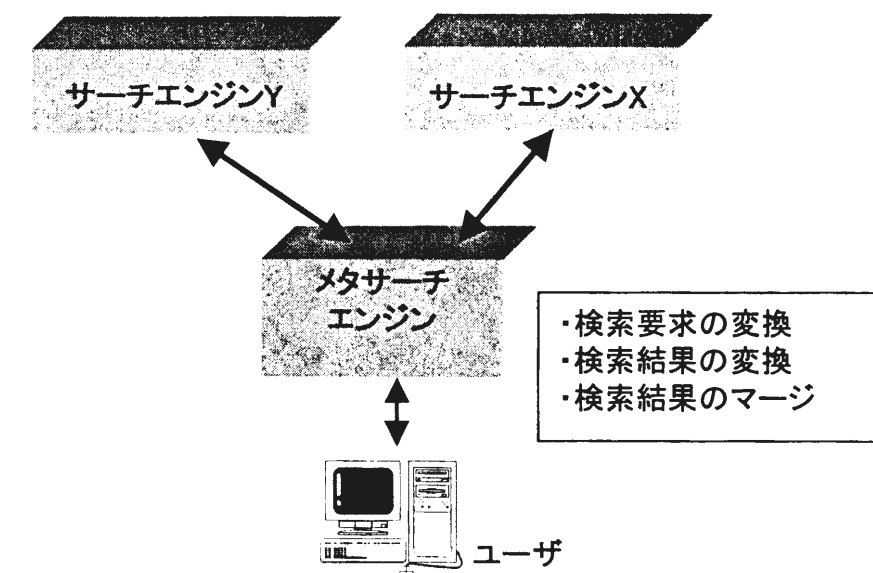


図 2.3 メタサーチエンジン

一方、情報探索のターゲットが明確でない場合、通常ウェブブラウザを使って“ネットサーフィン”をすることになるが、有益な情報に行き着くことはなかなか難しい。そこで、ユーザのブラウジングの様子を学習し、少しでもユーザの好みや特性にあったブラウジングを支援するようなエージェントが考えられている。

Letizia[Lieberman95]はマサチューセッツ工科大学の **P. Maes** によるインタフェースエージェント[Maes94]の流れを汲むものである。**Letizia**のエージェントはまず、ユーザのブラウジングの様子を観察し、アクセスしたページのタイトルや抽出されたキーワードから、

ユーザの興味を学習する。学習が進むと、ユーザがアクセスしたページの中にある次のリンクを先読みし、その中でユーザの興味に合いそうなリンクを推奨することによってブラウジングを支援する(図 2.4)。

Webwatcher[Armstrong95]のエージェントは正確にはブラウザではなく代理サーバ(proxy server)として動作する。Letizia と同様にユーザがアクセスしたページのリンクの中で、ユーザの特性にマッチするリンクを推奨する。それに加えて、過去にアクセスされたことのある類似の情報を持つリンクを追加して表示する。Balabanovic らによる研究[Balabanovic95a]も類似の研究である。[Armstrong95]や[Balabanovic95a]はLetizia のようにエージェントがユーザの好みを勝手に推測するのではなく、アクセスしたページについての評価をユーザに入力させる。ユーザにとっては負担になるが、逆に効率的な学習が可能となる。

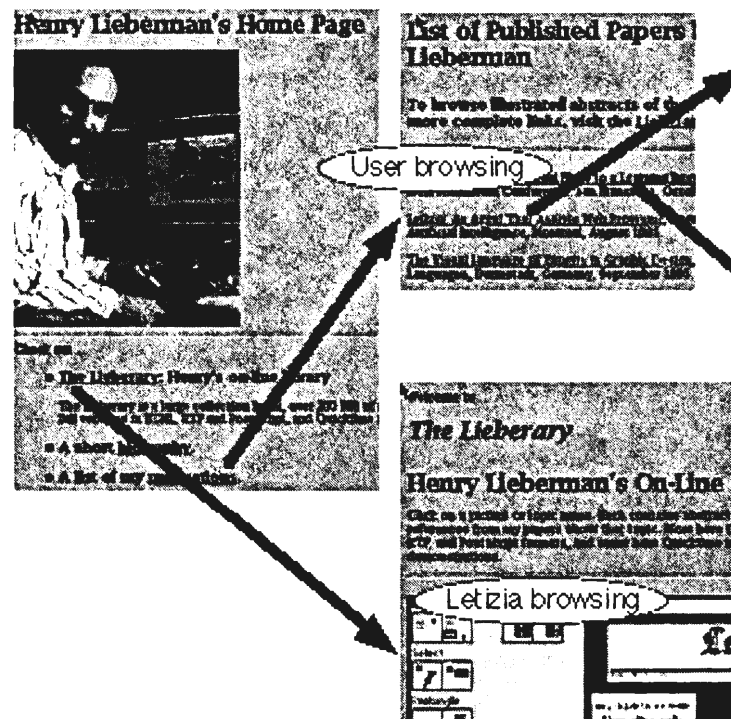


図 2.4 Letizia の画面例 [Lieberman95]

2.3.2 情報抽出の支援

情報が存在するサイトが特定された段階で、具体的な情報をユーザに提供する際に、ユーザ毎にカスタマイズした情報の提供をおこなうエージェントの研究が進められている。この種のエージェントの典型的なものはリコメンダシステムと呼ばれるものである。リコメンダシステムは、ユーザに対してその人に適した情報や製品等を推奨する。そのために、その情報や製品等に関する人々の評価を収集し、これを何らかの方法で処理してユーザにマッチした情報や製品を推奨する。リコメンダシステムによって、ユーザは自分の必要とする情報を効率的に入手することが可能となる。

最初のリコメンダシステムと言われているのは、Tapestry [Goldberg92]である。Tapestry は電子メールとネットワークニュースのフィルタリングを行う。Tapestry は、協調フィルタリングの概念を初めて提唱した。協調フィルタリング(collaborative filtering)はリコメンダシステムの核となる技術であり、ほぼ同義として使われることも多い。協調フィルタリングは、多くの情報の中からユーザにとって必要な情報を選別する技術(情報フィルタリング)の一種である。通常の情報フィルタリングは、協調フィルタリングと対比して、内容フィルタリング(content-based filtering)と呼ばれる。内容フィルタリングは、ユーザの入力したキーワードやユーザのプロファイルと情報の内容を照合することによって、情報を取捨選択する。一方、協調フィルタリングは、ユーザのプロファイルや興味、関心が類似している人の情報に対する評価を基に、情報を取捨選択する。

協調フィルタリングを用いた、一般的なリコメンダシステムのアーキテクチャを図 2.5に示す。システムの処理の流れは次のようになる。

推奨情報の蓄積:システムはユーザの推奨する情報(リコメンデーション)を蓄積する。

これは、ユーザの嗜好を調べ、ユーザプロファイルの獲得に利用されるとともに、他のユーザに情報を推奨する際の元情報となる。

ユーザプロファイルの獲得:推奨情報の蓄積と並行して、これらのリコメンデーションやその他のユーザ情報(年齢、職業など)から、ユーザのプロファイルを獲得する。ユーザプロファイルはユーザの特性を表し、次のユーザのグルーピングに用いられる。

グルーピング:ユーザプロファイル間の相関関係を調べて、嗜好の似ている(プロファイルの類似している)ユーザのグループを見つけ出す。

嗜好の予測:対象ユーザ(今情報を提供しようとしているユーザ)と類似しているユーザ

を探し出し、類似ユーザの推奨している情報の中から対象ユーザにもっとも適していると思われる情報を推奨する。

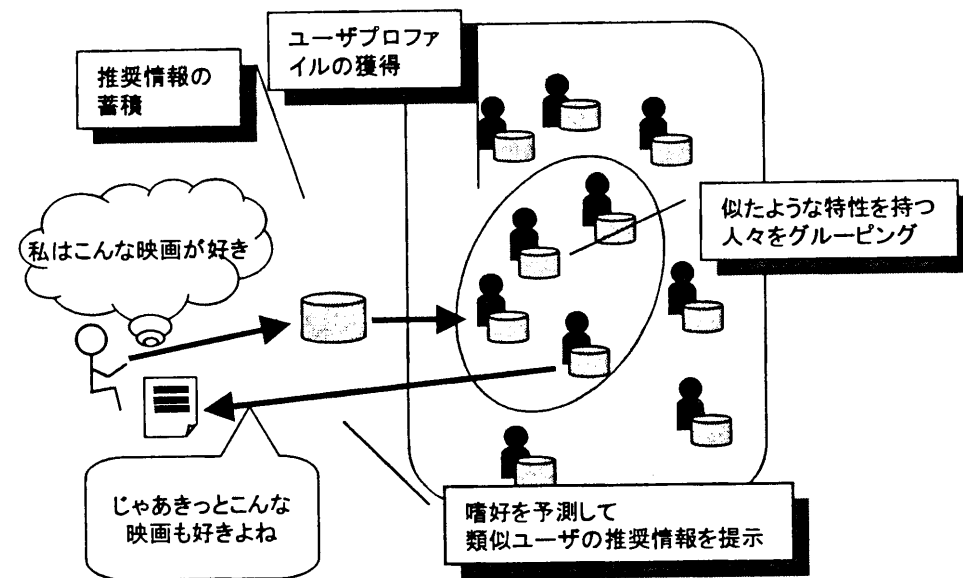


図 2.5 レコメンダシステムのアーキテクチャ

典型的な協調フィルタリングを用いたレコメンダシステムとして、GroupLens [Resnick94]と Ringo [Shardanand95]がある。GroupLens はネットニュースを対象としており、ニュースリーダを改造して、ユーザがニュースの記事に対する推奨度合いを知ることができるようにした。協調フィルタリングによるレコメンダシステムは、対象の情報に対して十分な評価情報が集まらないうと、有効なレコメンドができないという欠点がある。

Fab[Balabanovic95b]は協調によるレコメンデーションと内容によるレコメンデーションとを組み合わせることで、その欠点を解消しようとしたレコメンダシステムである。ここで内容によるレコメンデーションとは、ユーザ自身が情報に対して行った評価を基にユーザプロフィールを作成し、これに基づいて情報フィルタリングを行うようなシステムを指す。Fab は Web ページを対象としたレコメンダシステムであり、マルチエージェントシステムとして実装されている。Web ページのレコメンドを収集ステージと選択ステージの2段階に分けて行うところに特徴がある。収集エージェントは固有のプロファイルを持ち、そのプロファイルに適合した Web ページを収集して中央ルータに渡す。収集エージェントのプロファイルは

ユーザの集団の中で最近高く評価されている Web ページのトピックを分類して、幾つかの収集エージェントに配分する形で作成される。一方、選択エージェントはユーザごとに存在し、ユーザの過去の評価から形成されたプロフィールを基に、中央ルータに集積された Web ページの中からそのユーザに適合する Web ページをレコメンドする。

2.3.3 情報統合の支援

ユーザが必要とする情報が一ヶ所のサイトでは得られない場合、複数のサイトにアクセスし、その検索結果を統合することが必要となる。このような作業を代行するエージェントは情報の探し方や情報の所在に関する知識を持っており、それに基づいてユーザのリクエストする情報をネットワーク中から収集してくる。ユーザはサーバの所在やアクセス方法を知る必要はなく、単に要求条件を提示すると、エージェントがそれを解釈し、適切なサーバを探してそのサーバに合った方法で代行アクセスする。さらに、複数のサーバからの結果を統合して編集し、ユーザの要求にあった形で返却することになる。

Internet Softbot[Etzioni94]は Washington 大の Etzioni らのグループによって開発が進められているソフトウェアエージェントである。[Etzioni94]では Internet 上の人と情報のやりとりをする際に、エージェントが ftp, telnet, mail, netfind, archie, gopher などの知識を使って人を探し、ユーザの仕事を支援する例が書かれている。同じ Etzioni のグループで開発された ShopBot[Doorenbos96]は、複数のオンラインショッピングの商品情報を集めて比較リストを作成し、ユーザに提供するものである。ShopBot ではショッピングサイトのアクセス方法の知識を ILA[Prkowitz95]という方法で自動的に学習している。ILA は各サイトに書かれているであろう属性(例えば商品の名前、価格など)とアクセス例を与えることで、各サイトのアクセス方法を学習する。

Knoblock らの研究[Knoblock94]では情報収集のプランを立てるところに重点が置かれている。CIG Searchbots[Decker95]はマルチエージェントシステムで協調的に情報収集を行う。この種のシステムにはどの程度インテリジェントかは別として、BargainFinder [Bargainfinder]など商用システムをめざしてサービスを開始しているものも多い。

2.4 協調活動の支援に関する研究

社会生活では企業、行政、地域など様々な局面で組織やグループの活動が行なわれている。これらの活動に関しても、ネットワークの発展にともなって地理的な制約や時間的な制約が緩和され、これまでになかった新しい形態のグループ活動が生まれようとしている。例えば企業においては、ネットワークによって情報を適切に流通、共有させることによって、従来の中央集権的、階層的な企業組織から水平分散型の分権型の組織へと組み替えられ、多様かつ変化の激しい市場や顧客のニーズに迅速に適応することが可能になってきている。このような例は市民生活にも見られる。従来の地理的な制約にしばられた狭い地域で行われてきた地域コミュニティの活動に加えて、パソコン通信やインターネットを通じたフォーラム活動や広域的なボランティアの活動などが生まれてきている。[CCCI96]

このような活動はパソコンや LAN、インターネットなど、コンピュータおよび通信ネットワークの発展が可能にしたものであるが、今後さらにこれらのネットワーク化されたグループ活動が活発化、発展してくるにつれて、その活動のエージェントによる支援が大きな意味を持つてくる。

ネットワーク上でのグループ活動は大きく以下の2種類にわけて考えられる。

(1) フォーマルな活動

確立した組織によって定型的なパターンで行われる活動。例えば、企業における開発、生産、営業、販売、取引や、問屋や商店における商取引、物流などである。フォーマルな活動を支援するものとしては、イントラネット、グループウェア、電子決済などがベースとしてあるが、さらにエージェント技術を活用することによって、情報の流通の支援や、分散された部門の活動をうまく調和をとりながら進めるための支援が可能となる。

(2) インフォーマルな活動

組織されていない個人あるいはグループによって非定型的に行われる活動。日常の個人レベルの社会生活、例えば個人の買い物や娯楽活動、趣味のサークルや地域の活動、ボランティア活動などが該当する。ネットワークの発展により、既存の組織や地理的な制約がなくなり、直接的、個別的なコミュニケーションが可能になることから、このようなインフォーマルな活動がネットワークワイドにダイナミックに行なわれる可能性がある[ラインゴー

ルド95]。このような活動を支援する機能がネットワークの利点を最大限に生かしたサイバー社会の構築のために重要になる。

以下、フォーマルな活動とインフォーマルな活動のそれぞれについて、研究状況を概観する。

2.4.1 フォーマルな活動の支援

フォーマルな活動の支援でもっとも重要なことは、様々な組織がそれぞれ自律的に行っている活動をうまく連携させることである。具体的には、各組織の仕事の手順をモデル化して、これをネットワークで接続されたコンピュータシステムとしてインプリメントし、仕事を実行する。水平型の企業組織では、各部門が分権化され、比較的独立して仕事を行っていくことから、分散コンピュータシステムによる情報の共有とワークフローの支援がかかせないものになってくる。代表的な事例として、カナダ・トロント大学の M.Fox らによるサプライチェーン管理に関する研究例[Fox93]がある。

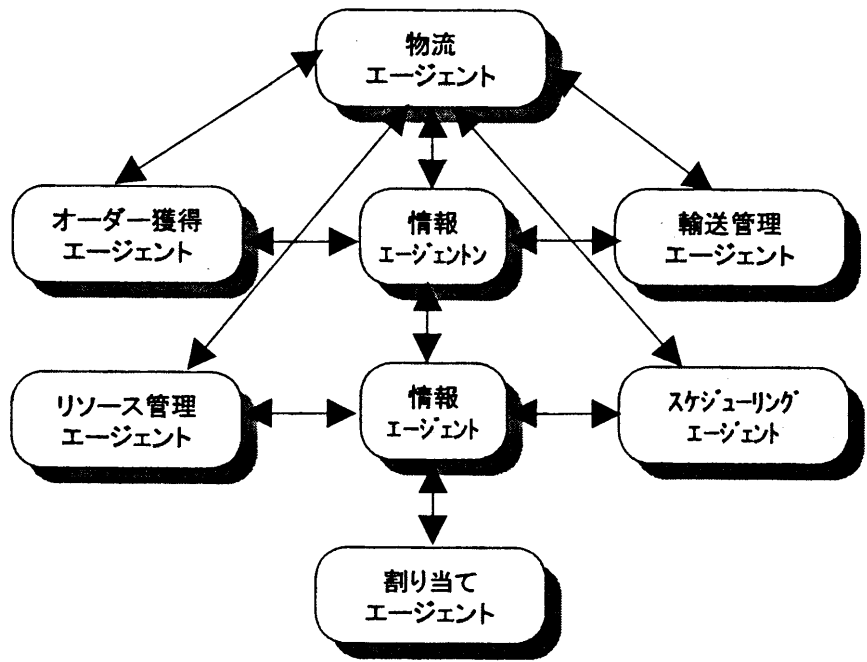
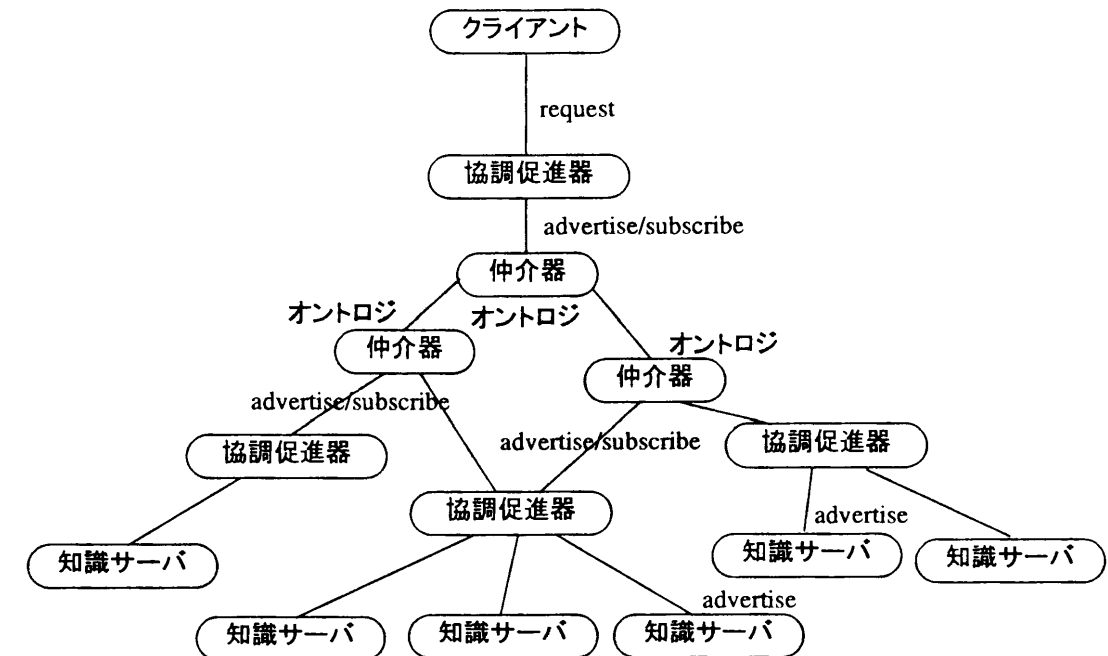


図 2.6 サプライチェーン管理システムにおけるエージェント構成 [Barbuceanu94]

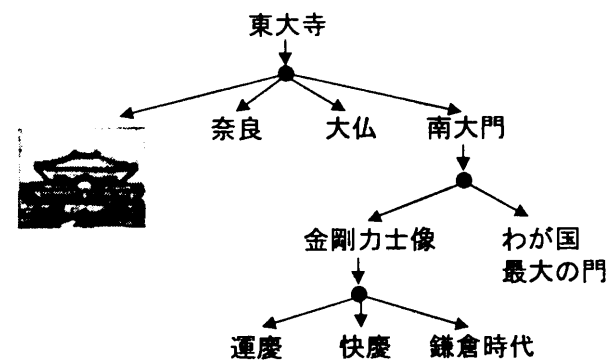
機能エージェントには以下の6種類がある.

- 上記のエージェント群はそれぞれ自律的に動作し、問題が起きたときには情報エージェントの助けを借りながら他のエージェントと協調して問題を解決しようとする。エージェントは COOL (COOrdination Language) [Barbuceanu96] と呼ばれる協調言語で記述され、エージェント間の通信には KQML (Knowledge Query Manipulation Language) が使用されている。

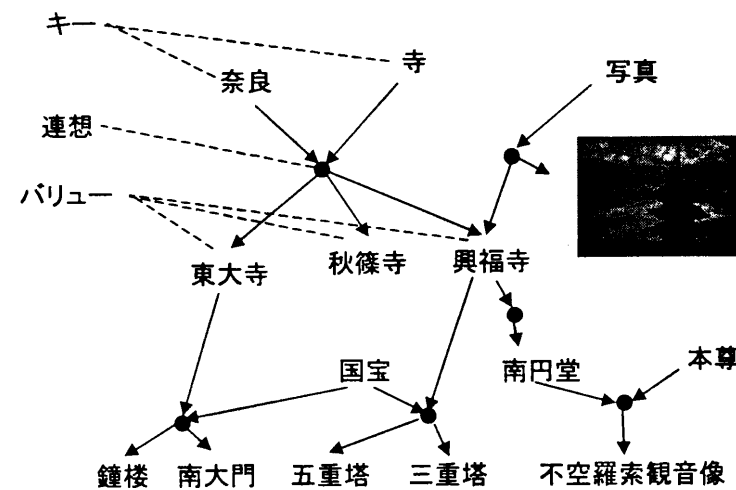
インフォーマルな活動支援の代表例として、奈良先端科学技術大学院大学の西田研究室で進められてきた知識コミュニティプロジェクトがある。当初は、様々な知識を収集、体系化し共有するインフラストラクチャとして構想された[西田93][西田94]。最初のシステムである **KC0**は、自律的なエージェントが共通言語を用いてインタラクションしつつ知識の共有を仲介する[武田94]システムとして実現されている。ここでは **PACT** と同様に連邦アーキテクチャと共通言語としての **KQML** が利用されている(図 2.7)。また、評価のテストベッドとして、関西に関する地域情報の流通・提供システム **KC-Kansai** が作成され、旅行計画の立案などの機能が提供された。



次に、人間とコンピュータとの知識の共有をめざして、「知識メディア」を核とした **KC1** が作成された。ここではオントロジ(共通概念知識)をもとに、マルチメディア情報を統合したり、自然言語ドキュメントからの知識抽出などの技術が開発されている[西田95][西田96]。さらに、**KC2**では知識コミュニティを「知識をもつ場における、知識をもつ主体のインタラクションによってつくられる共同体」ととらえた定式化が試みられている[西田97]。**KC2**においては、「知識を持つ主体」は人間またはエージェントである。また、「知識を持つ場」はその上で活動する主体が共有する知識(共有知)を持つとともに、知識へのアクセスや主体間のインタラクションの支援を行う機能を持つ。知識の共有のためには、様々なソースから集められた情報を、オントロジに基づく連想構造によってゆるやかに体系づける **CoMeMo** とよばれるシステムが開発された [前田97]。例えば図 2.8の例では、情報のユーザから与えられたキーワードをもとに、連想される情報をリンクさせて表示する。合せてエージェントがオントロジを用いて知識を自動的に収集、分類、統合化する手法が開発された[岩爪97]。



(a) 自由連想



(b) 共通集合, 属性・値

図 2.8 CoMeMo における連想構造 [前田 97]

数多くのエージェント技術応用が試みられていることを述べた。さらに、協調活動の支援の研究に関して、フォーマルな活動支援としてサプライチェーン管理の研究事例を、またインフォーマルな活動支援として知識コミュニティの研究事例を紹介した。

表 2.1 に従来の研究の代表例と、それぞれの研究が主として対象としているコミュニケーション支援分野との対応を示す。

表 2.1 従来の研究とコミュニケーション支援対象

支援対象 コミュニケーション形態	目標の認識	相手の同定	時間の同期	手段の調整
情報の伝達				DUET (通信手段の選択)
情報の統合	Letizia (嗜好の学習)	TITAN (探索絞込み)	MagicMail (配送状況の監視)	Softbot (サービスの統合) Shopbot (情報の統合)
協調活動	レコメンダシステム (協調フィルタリング)			知識コミュニティ (知識の共有) サプライチェーン管理 (処理の連携)

表からわかるように、これらの研究はいずれもコミュニケーションの阻害要因を解決するために、個別発生的に行われたものであり、エージェント技術の様々な形での応用が試みられている。しかし、その分野はインタフェースエージェントの応用としてのユーザとのインタラクションの支援と、ネットワーク上の情報の統合という観点とに偏っている。コミュニケーションをトータルに捉えて、現実世界とシームレスに結合して社会活動の円滑化を支援するという意味でのより高度なコミュニケーションシステムを実現するためには、統一的なコンセプトとアーキテクチャで実現された知的なインフラストラクチャが必要である。本研究ではこれをエージェント通信システムというコンセプトとして提案し、さらにマルチエージェントシステムによる基本的なアーキテクチャを提案している。統一的なコンセプトとアーキテ

2.5 まとめ

本章では、エージェント技術のコミュニケーションへの応用について、従来の研究状況を概観した。情報伝達の支援については、コミュニケーション手段の選択とメールの配送制御についての研究事例について述べた。また、情報統合の支援の研究については、情報の所在の発見、情報の抽出の支援、情報の統合の支援、という3つの段階について、

クチャに基づくことで、様々なコミュニケーション支援が融合され、社会的な基盤として整備される可能性が生まれてくると考えられる。

第3章 エージェント通信

3.1 はじめに

インターネットによってあらゆる情報システムが相互に接続され、家庭にまで入り込んでくるようになってくると、情報システムはこれまでの集中、クローズド、静的なシステムから、分散、オープン、動的なシステムへと変貌せざるを得ない。このような複雑なシステムは人間のコントロールや設計能力の範囲を越えており、何らかの意味で人間をサポートするシステムが求められる。それを実現するのが「エージェント」である。以下では、エージェントによってネットワーク上のコミュニケーションを支援するシステムーエージェント通信システムーのコンセプトと基本的なアーキテクチャを提案する。

3.2 エージェント通信のコンセプト

インターネットの爆発的な普及、ハードウェア、ソフトウェア技術の目覚ましい進展、デジタル化技術の浸透などによって、ありとあらゆる情報がネットワーク上で流通し、さらに電子取引に代表されるようにネットワーク上で様々な社会活動が行われるようになってきている。その上で実現されるコミュニケーションも、電話に代表される「単に情報を交換する」という形態から、バーチャルショッピングや遠隔教育など「人々が地理的な制約を超えた社会活動を行う」ような形態へと進化してきている。これに伴って、ネットワークの役割も、これまでの「情報を伝達するための通信パイプの提供」から、「グローバルな社会活動を支援するための場の提供」、言い換えると、「ネットワークを介した情報コミュニティの提供」へと、質的に変化することが求められてきている。

それでは、このような「情報コミュニティ」を実現する上で、これまでの通信技術で足りないものは何であろうか？ 図 3.1でネットワークを通したコミュニケーションの変遷を考えてみよう。電話サービスが最初に実施された時には、電話交換手が存在しており、利用者は交換手に通信相手の名前や住所を告げるだけで電話サービスを受けることができた。しかし、自動交換機の出現により電話交換手は姿を消し、利用者は無味乾燥な数字列をダイヤルしなければならなくなった。さらにネットワークには電話だけでなく、ファックスやパーソナル・コンピュータ、コンピュータシステムなどが接続された。この結果、利用者は番号をダイヤルするだけでなく、コンピュータシステムが提供するサービスを受けるための通信接続手順やサービスの操作方法を覚える必要が生じてきた。これらの手順・方法は、利用者が受けようとするサービスごとにバラバラであり、人々を混乱におとしいれた。「コミュニケーションを行う際に、なぜネットワークの種別や相手先端末の種別、サービスを受けるコンピュータシステムを意識しなければならないのか」「なぜ、通信目的や自分の要望を告げるだけでサービスを受けることができないのか」という素朴な疑問が生まれてきても不思議ではない。今後、「情報コミュニティ」の実現に向けて、単なる通信手段だけでなく、ネットワーク上で提供される機能が豊富になってくれば、ユーザの負担がますます増大するであろうことは容易に想像がつく。

このような問題点を解決するために、ネットワークの上に人間社会をサポートするシステムを提供しようというのが「エージェント通信」の狙いである。利用者からは、ネットワークや、ネットワークに接続されている端末やコンピュータシステムが見える必要はなく、利用者からはサービスそのもの、あるいはサービスを受ける環境だけが見えればよいのである。コミュニケーションの最終目標は、私達が日常生活している現実社会をネットワーク上に拡張した「仮想的な情報コミュニティ」、言い換えれば「仮想社会（サイバーソサイエティ）」を、ネットワークの上に構築することにあると考えられる。エージェント通信は「仮想社会」の中で、人々が活動をしやすくし、快適に暮らすことができるようにするための仕組みである。「仮想社会」の中では、人々はコミュニケーションをするための特別な通信方法やコマンド操作を身に付ける必要はない。日常生活と同じ方法で「仮想社会」の中で生活することができるからである。

このようなネットワーク上の社会には、多様なサービスを提供するサービス提供者とそのサービスを利用する多数のユーザが存在している。そして、次のような機能がネットワーク上のコミュニケーションをサポートするものとして要求される。

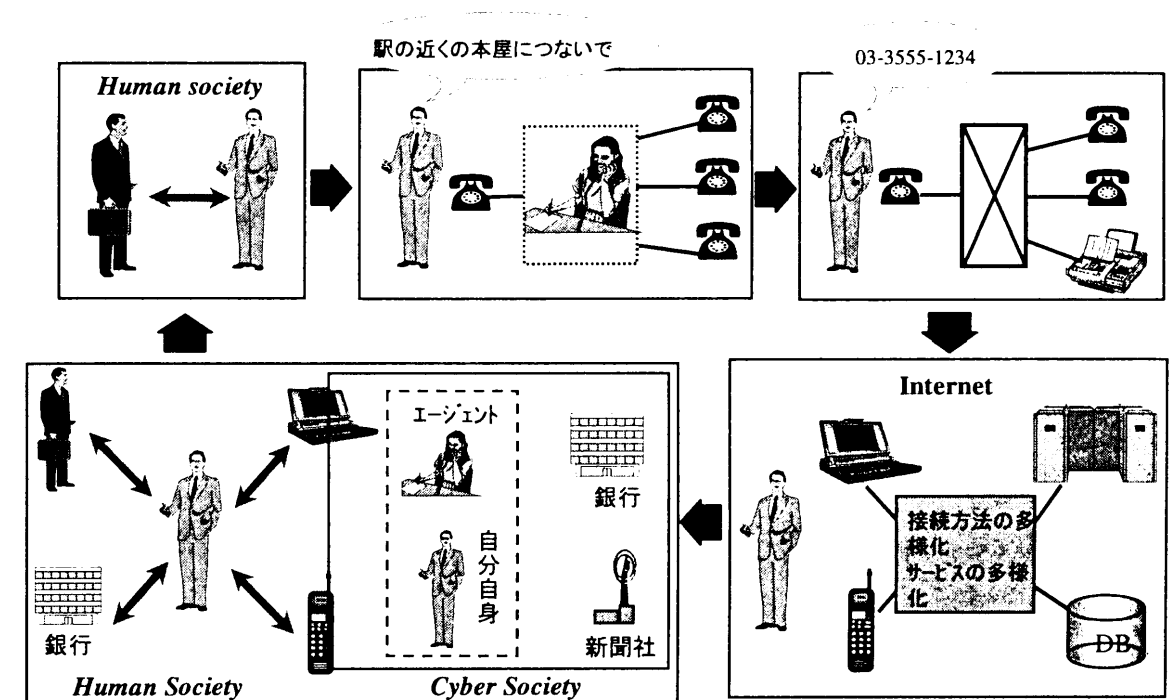


図 3.1 コミュニケーションの原点へ

サービス提供者の立場：サービスを簡単に構築できる枠組みが必要である。

また、サービスを登録するだけで多くの利用者に利用してもらえる仕掛けも必要である。

サービス利用者の立場：ネットワークを介して提供されるサービスを簡単に使

える必要がある。また、サービスの所在やサービスの利用方法の詳細を知らなくても、自分の要望や目的を達成できることが望まれる。

このような機能を個別のサービスやアプリケーションごとに実装した場合の問題として、サービス相互間のインターオペラビリティがある。現実の社会において様々なサービスが連携しているように、ネットワーク上の社会においてもサービス連携が必須となる。また、サービスの利用者にとっては、多様なサービスを自由に使える環境が望ましい。これらの要求条件を満たすためには、多様なネットワークサービスを支える共通的なインフラストラクチャが必要になると考えられる。このインフラストラクチャはサービスそのものではなく、サー

ビスと利用者相互間を柔軟に結び付けるための仲介者としての役割を果たすものである。その実現にあたっては、ネットワークが巨大でかつ地理的に分散していること、オープンで常にダイナミックに変貌していること、サービスや利用者の目的や行動が多様であることを考慮すると、自律的なエージェントソフトウェア群が協調して動作する実現形態が望ましいと考えられる。

以上をまとめると、本論文で提案するエージェント通信とは、「ネットワーク上での様々な社会活動を支援するために、自律的なエージェントソフトウェア群が、相互に協調してコミュニケーションサービスを提供するもの」である。また、このようなサービスを実現するために、個々のエージェントの実現方法ではなく、エージェントが活動できるようにするための環境を提供し、エージェントを組み合わせてさまざまなサービスを構築可能とするようなプラットフォームが必要である。このプラットフォームをエージェント通信環境と呼ぶ(図 3.2)。このようなプラットフォームを用意することで、4章以降に述べるような様々なサービスが容易に実現できるとともに、それらの間の相互運用性や統一性が保たれ、サービスの拡張や統合が可能となる。

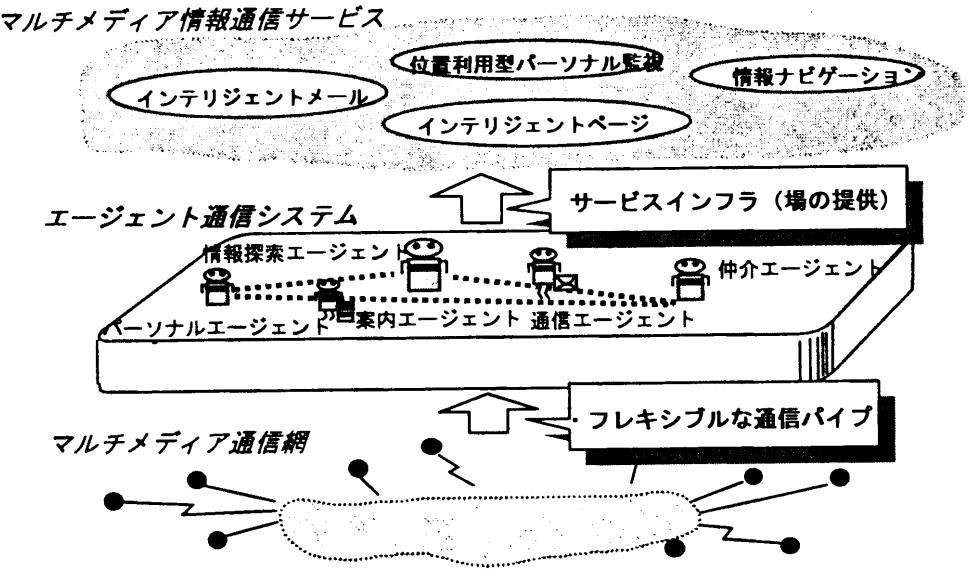


図 3.2 エージェント通信のコンセプト

3.3 エージェント通信システムのアーキテクチャ

本節では、エージェント通信システムのアーキテクチャを検討する。エージェント通信環境の上に構築される多様なサービスを、サービス提供者とサービス利用者からなるサービス処理モデルとして考えよう。この処理モデルの上で、第1章で述べたようなコミュニケーションの支援対象をエージェントとしてどのように実現していけばよいであろうか。機能の配置の仕方では、以下のような案が考えられる。

- (案1)集中型:一つの集中エージェントとして実現する
- (案2)クライアント・サーバ型:サービス利用側とサービス提供側の2つのエージェントとして実現する。
- (案3)分散型:サービス利用側とサービス提供側の間に複数のエージェントをおいて実現する。

3案の比較を表 3.1に示す。

表 3.1 エージェント通信システムの機能配置方式

	概要	実装の容易さ	支援機能の実現性	柔軟性	拡張性	通信量
案1 集中型		容易 ○	△ 事前に全ての情報を収集しておく必要がある	× 動的にサービスを選択するようなことはできない	× スケーラビリティにかけ、大規模になると非現実的	△ ローカルな情報まで全て通信する必要あり
案2 クライアント・サーバ型		利用側と提供側の対応が固定的な場合は容易 ○	△ サービスの統合をしようとするとクライアントに負荷がかかる	△ 組み合わせが変わるとエージェントの機能に変更が必要	△ 規模が大きくなるとクライアントとサーバの組み合わせが爆発	△ 常にエンドツーエンドの通信が必要
案3 分散型		△ ダイナミックに相手を選択して通信する必要あり	○ エージェントの機能分担により多様な機能の実現が可能	○ エージェントの組み合わせの変更により柔軟に対応可能	○ 必要な組み合わせのみで処理が可能で拡張性高い	○ 必要な組み合わせでのみ通信を行えば良い

表に示すように、本研究で実現を目指しているように多様で動的に変更、追加が行われていくサービス群のプラットフォームとしては、案3の分散型が適している。具体的には第1章で述べたコミュニケーションの支援対象に対応する機能は次の3種類に分類できるものと考えられる。

- ・ ユーザがサービスを簡単に利用できるように支援する機能
→ (サービス利用側にとっての)「目標の認識」
- ・ サービス提供者が容易にサービスを実現できるように支援する機能
→ (サービス提供側にとっての)「目標の認識」
- ・ サービスとユーザを有機的に結合する機能
→ 「相手の同定」「時間の同期」「手段の調整」

エージェント通信環境では、これらの機能をそれぞれ、ユーザレイヤ、サービスレイヤ、メディエーションレイヤの3つのレイヤとして実現する(図 3.3)。このように3レイヤに分けることで、システム構成の自由度、選択肢を広げ、拡張性、柔軟性を確保することができる。

各レイヤはマルチエージェントシステムとして構成される。ユーザレイヤには個々のユーザに対応するパーソナルエージェントが存在し、ユーザとユーザインタフェースを介して接続される。サービスレイヤには個々のサービスに対応するサービスエージェントが存在し、既存のサービスサーバをエージェント化するラッパによって接続される。メディエーションレイヤはサービスとユーザとを仲介する仲介エージェント群によって構成される。仲介エージェントは相互に協調しながら、ユーザの目的と提供されるサービス内容とのギャップを吸収する。

各エージェントは共通のエージェント通信言語を使って通信を行う。このエージェント通信言語は、共通的な情報交換のメカニズムに加えて、アプリケーション固有なプロトコルの実現が可能な拡張性を持つ必要がある。例えば、KQML[Finin94a][Finin94b]のようにパフォーマティブの追加によって拡張可能な言語や、AgentTalk[桑原 96]のような継承によって容易にプロトコルの拡張が可能な言語の利用が考えられる。

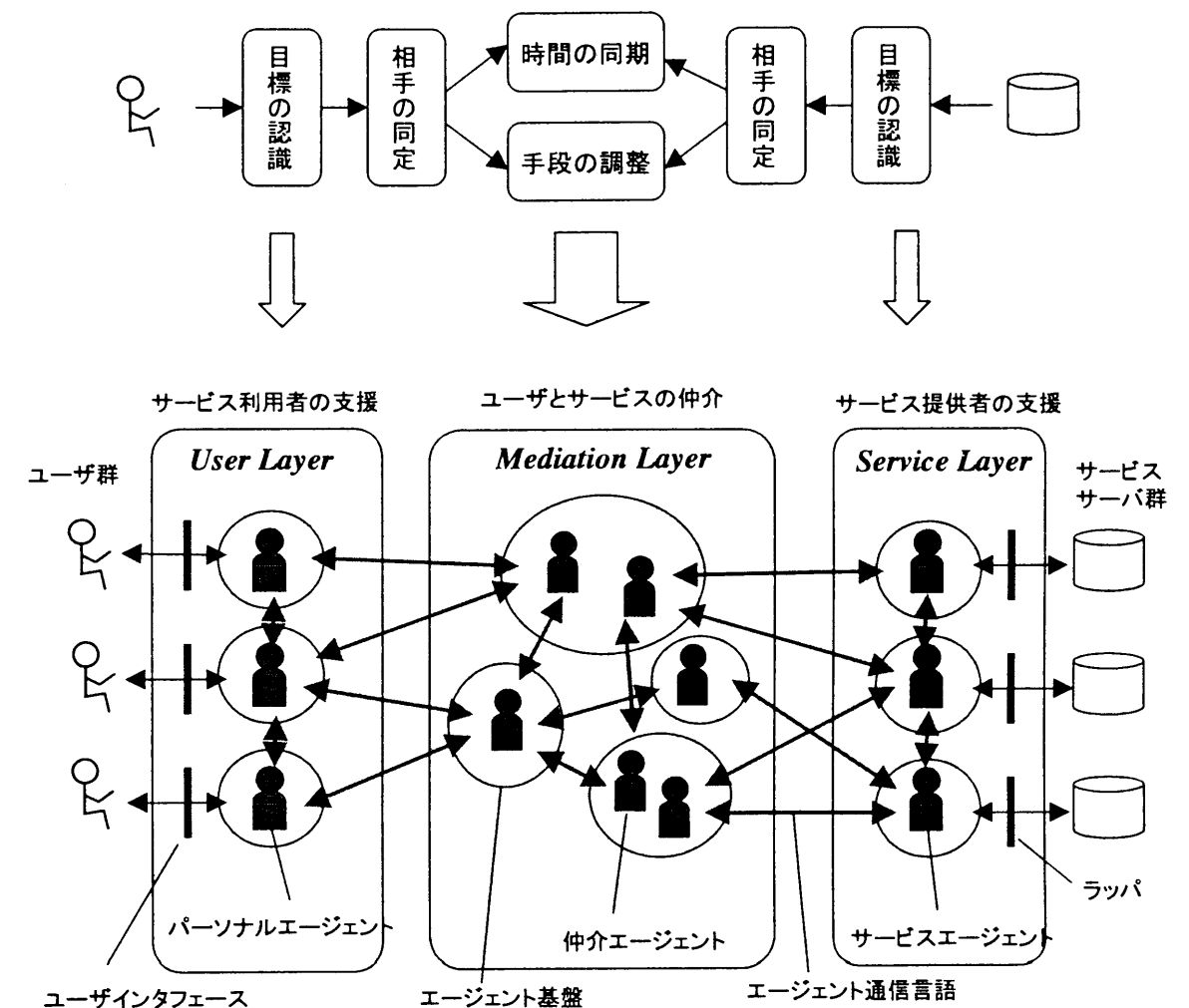


図 3.3 エージェント通信システムのアーキテクチャ

また、各エージェントは共通のエージェント基盤の上で動作する。エージェント基盤は個々のエージェントの実装方法とは独立に、エージェント間の相互運用性を確保するための機能を提供する。具体的な提供機能については今後精査する必要があるが、例えば以下のような機構の提供が考えられる。

- ・ エージェント間が相互に通信するための機構
- ・ エージェント間での情報交換に必要なオントロジ(用語およびプロトコル)を共有化するための機構

- ・個々のエージェントの提供機能およびその利用方法を相互に通知するための機構
- ・エージェントの生成や消滅を管理するための機構。
- ・エージェントの状態や所在を管理するための機構。
- ・エージェントのセキュリティを確保するための機構。

次に、パーソナルエージェント、サービスエージェント、仲介エージェントのそれぞれについて、その役割と必要とされる機能を整理し、および基本的なアーキテクチャを提案する。

(1) パーソナルエージェント

個々のユーザの支援を行う。主要な機能として、ユーザがサービスを利用する際のインタラクションを支援する機能と、ユーザの代理としてサービスの利用要求を代行する機能とが考えられる。前者は、サービスに関する知識(オントロジ)とユーザに関する知識(ユーザプロフィール)をもとに、ユーザの入力を適切にガイドすることにより、ユーザがサービスを利用する際の負荷を低減するものである。また、後者は、ユーザに代わってサービスに対する処理要求(ここではイベントと呼ぶ)を発行する。

これらの処理を行うため、パーソナルエージェントはユーザのプロファイルを獲得し、管理する機能とサービスやそれを仲介する仲介エージェントに関するオントロジを入手し、管理する機能とが必要になる。ユーザプロフィールの獲得の方法としては、ユーザからの明示的な入力情報による方法と、ユーザのシステムとの対話状況の観測や、ユーザに関する文書やホームページからのデータマイニングなどの学習による方法とが考えられる。図 3.4 にパーソナルエージェントの基本的なアーキテクチャを示す。ユーザインタフェースは音声、テキスト、画像などの適切なメディアでの対話機能である。

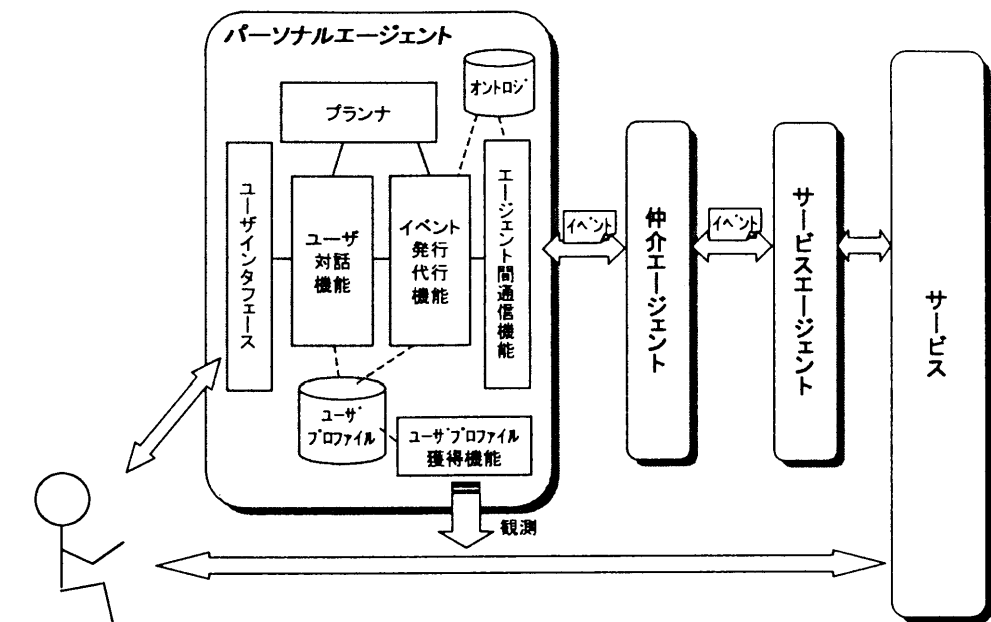


図 3.4 パーソナルエージェントのアーキテクチャ

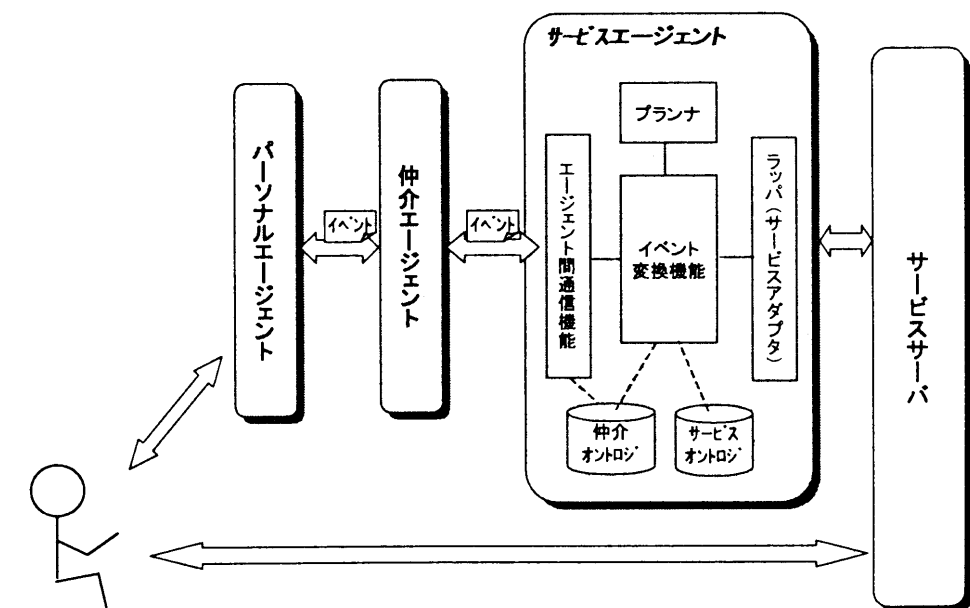


図 3.5 サービスエージェントのアーキテクチャ

(2) サービスエージェント

個々のサービス提供者の代理としてサービスを実現する。サービスエージェントは、サービスサーバの提供するプロトコルや言語の形式の違いを吸収するラッピング機能を提供する。さらに、仲介エージェントが処理(イベント)を扱えるように、イベントの内容を変換したり、分解、合成したりする。合せて仲介エージェントのオントロジとサービスのオントロジのマッピングを取り、データの変換を行う。図 3.5 にサービスエージェントの基本アーキテクチャを示す。

(3) 仲介エージェント

ユーザとサービスを有機的に結合し、それぞれの活動の支援を行う。ユーザ側からのイベントとサービス側からのイベントとの対応関係を識別し、仲介ロジックリポジトリから必要な仲介ロジックを選択してマッピングを実行する。この際に、状況に応じてロジックのカスタマイズが必要になる場合がある¹。また、処理に必要な他のエージェントをディレクトリ情報を用いて探す機能や、必要に応じて他のエージェントと協調して処理を行う機能が必要になる。図 3.6に仲介エージェントの基本アーキテクチャを示す。

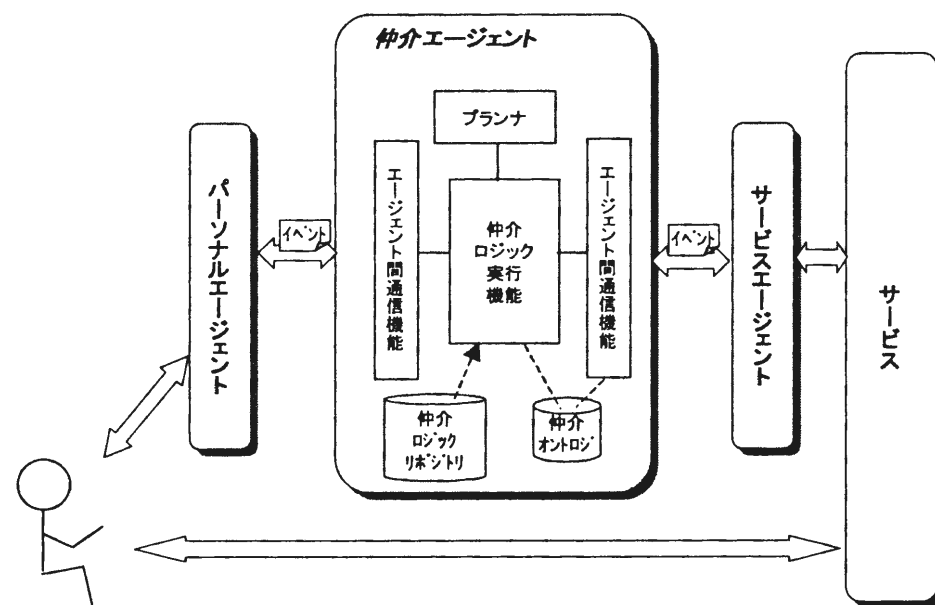


図 3.6 仲介エージェントのアーキテクチャ

いずれのエージェントも単独のエージェントである必要はなく、それぞれがマルチエージェントシステムとして構築されていてもよい。これらのエージェントが提供する機能は、それが提供するサービスの内容に依存して様々なものが考えられ、実現方式もそれぞれに応じたものにならざるを得ない。しかし、エージェント通信システム全体の中での位置付けでは、エージェントの外部から見た基本機能(他のエージェントやシステムとのインタフェース)は上記の3種類に分類できると考えられる。また、このようにエージェントの役割を整

理し、基本機能を共通化することで、相互運用性を確保して多様なコミュニケーションを実現することが可能となる。

3.4 まとめ

エージェントを適用することによってネットワーク上のコミュニケーションを支援するエージェント通信のコンセプトを提案した。コミュニケーションが単なる情報伝達から、ネットワーク上の社会活動へと発展してきていることを指摘し、そのサポートのために何らかのインフラストラクチャが必要であることを述べた。自律的なエージェントソフトウェアの協調システムによる実現を提案し、その動作プラットフォームとしてのエージェント通信環境の位置付けを述べた。

さらに、エージェント通信環境の基本的なアーキテクチャとして、サーバエージェント、パーソナルエージェント、仲介エージェントによる三層アーキテクチャを提案し、それぞれの基本的な機能を述べた。このような構成にすることで、サービスの相互運用性や発展性を確保することができる。

¹ カスタマイズのレベルには、単にデータの代入レベルから、処理ロジックのダイナミックな変更まで考えられる。理想的には、AIのプランニングの技術を適用し、依頼に応じて問題解決の手順を組み立てるようなことが望まれる。

第4章 エージェント通信による情報伝達の支援

4.1 はじめに

電子メールは人と人とのコミュニケーションにおいて重要な、いつでも、どこでも誰とでも、自由な形態でコミュニケーションできるというファクターを備えており、これからも様々な形態で発展することが予想される。本章では、電子メールを利用する際の問題点を分析し、その問題の解決に向けてエージェントがどのような役割を果たせるかを考察する。

4.2 電子メールサービスの問題点とエージェントの役割

電子メールは、電話のようなリアルタイムのコミュニケーションではなく、非同期なコミュニケーションである。そのため、誰でも好きなときに情報発信ができ、受信者も好きなときにメールが読めるというメリットがある。しかし、このメリットはデメリットでもあり、つぎのような問題がある。

- ・誰でも簡単に発信ができるので、受信者にとっては雑多なメールが大量に届くことになる。そのため、メールを整理して必要なメールを読むための作業が大変になる。
- ・送信者にとっては、受信者がいつメールを読むかわからない。単に読んでいないのか、読めない状況なのかも分からない。一方、受信者にとっても、常にメールの到着を監視できるわけではなく、読めない状況の時もある。つまり、緊急連絡には電子メールは適さない。

これらの問題を解決するために、メール整理作業の支援と緊急メールへの対応につい

て、エージェントの利用を検討する。

(1) メール整理作業の支援

メール整理作業の支援のためのエージェント利用の研究例としては、MIT メディアラボの **Maxims**[Lashkari94] などがある。これはユーザに代わってメールの削除、転送、ソーティングを実行するもので、パーソナルエージェントの一種と考えることができる。

(2) 緊急メールへの対応

緊急のメールが届いたにもかかわらず、受信者がメールをすぐに読まなかった場合に、受信者への緊急連絡をエージェントに実行させることを考える。ここで重要なことは、送信者の意図と受信者の意図が常に一致するとは限らないことである。つまり、送信者にとって緊急でも受信者にとっては緊急ではない場合があるし、その逆の場合もある。そこで、ここでは受信者の立場から見て緊急メールが届いた場合の対応について考えることとする。以下、エージェントの役割を整理する。

メールボックスの監視： メールボックスに届いたメールが受信者にとって緊急を要する重要なメールの場合は、受信者にすぐ読まれるかどうか監視する。

受信者の状況判断： 受信者にすぐに読まれなかった場合は、受信者がどのような状況か判断する。状況判断には受信者のスケジュール情報を利用することなどが考えられる。

連絡手段の選択： 受信者の状況に応じて、どこにどのような手段で連絡すればよいかを選択する。受信者のアドレス情報の利用が考えられる。

メールの配送： 選択した通信手段とアドレスをもとに必要なメディア変換を行い、メールを配送する。

(1) 機能構成

マルチエージェントモデルに基づく知的メールサービスシステムのエージェント機能構成を図 4.1に示す。メール配送制御エージェントはメールボックスの監視、受信者の状況判断、連絡手段の選択を行う。メール配送制御エージェントは受信者のパーソナルエージェントであり、緊急を要するメールかどうか判断する基準を制御ルールとして定義することによってカスタマイズされる。例えば、スタンプの種別、メールの送信者、メールに含まれるキーワードなどにより緊急メールかどうかを定義する。本システムでは端末として携帯端末を用いており、メール配送制御エージェントはモバイルエージェントとして携帯端末からメールサーバへと送られる。

サーバには **Pager**, **FAX**, 電話への送信エージェントがあり、メールを受け取ると必要なメディア変換を実施して送信を行う。メールの配送は通信エージェントであるメール配送エージェントが担当する。アドレス情報やディレクトリを利用して各ユーザのメールボックスや各サーバにメールを配送する。

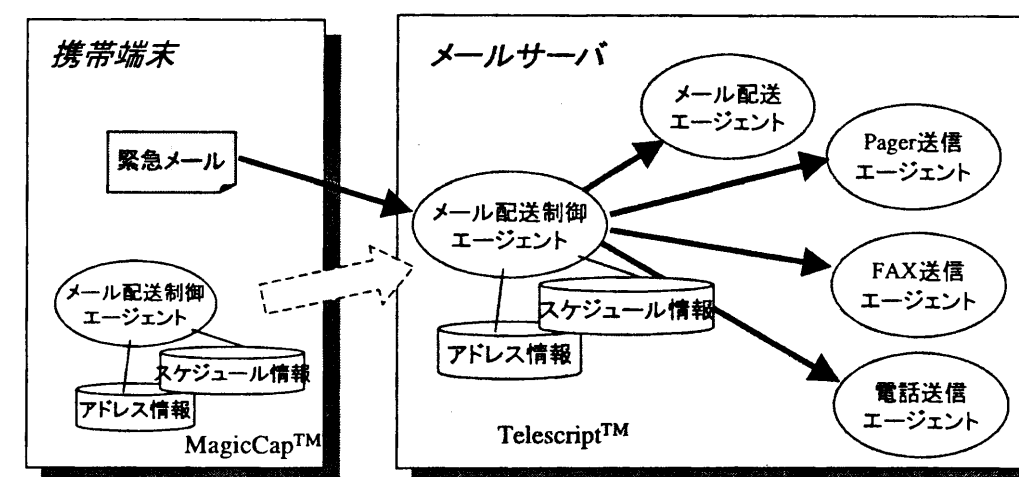


図 4.1 インテリジェントメールの機能構成

(2) システム構成

インテリジェントメールサービスシステムは図 4.2に示すように、メールサーバとメール送受信のための携帯端末、**Pager**, **FAX**, 電話にメールを送信するためのサーバから構成される。携帯端末とメールサーバは携帯電話回線で、サーバ間は **EtherNet** で接続されている。

4.3 インテリジェントメールサービスの実現

前章で述べた緊急メールへの対応を行うインテリジェントメールサービスの実現について、マルチエージェントシステムの処理モデルに基づく機能構成とシステム構成について述べる。

本システムは General Magic 社のエージェントプラットフォームである Telescript™ と MagicCap™ を利用して開発した。またベースとなるメールシステムは同社の MagicMail™ であり、前章で述べたメールの整理作業の支援機能は MagicMail™ で実現されている。携帯端末上では、各ユーザのスケジュール情報やアドレス情報(各種通信端末、場所、アドレスなどの情報)が管理されており、必要に応じてメールサーバのメール配送制御エージェントに情報を送ることができる。

FAX 送信サーバには MagicCap™ を搭載したパソコンを利用している。携帯端末で作成されたメールの画面イメージがそのまま FAX へ出力される。Pager へは送信可能な文字数への制限があるため、メール到着のマークと発信者名を送信している。電話の場合は、受ける相手が受信者本人ではない可能性があるため、発信者名と受信者の所属(会社名)および名前を伝え、本人への伝言が可能かどうかの確認するにとどめているが、音声読み上げシステムの利用によりメール本文の読み上げも可能である。

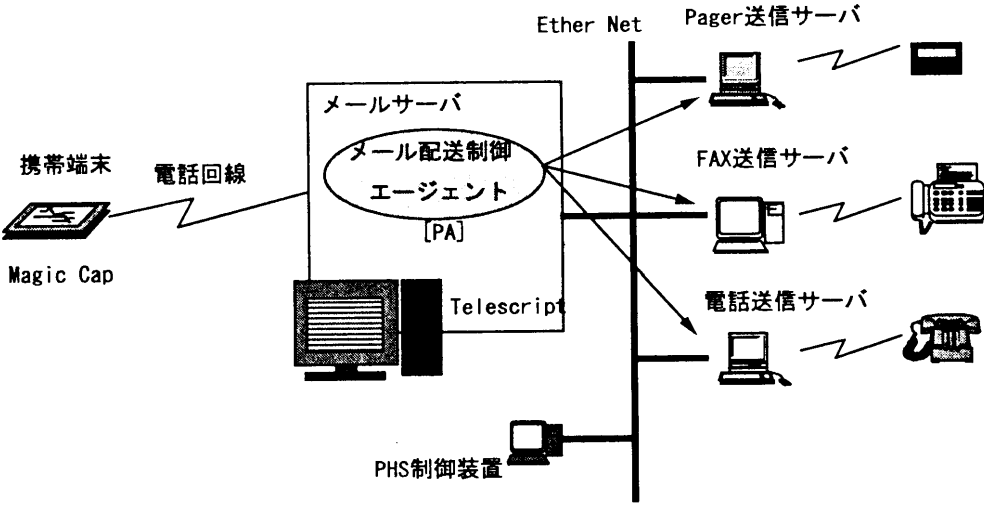


図 4.2 インテリジェントメールシステムの構成

インテリジェントメールサービスの利用の画面イメージを図 4.3 に示す。本システムでは、エージェントが受信者の状況とメールの緊急度等を監視して連絡手段の選択を行うため、受信者は緊急のメールが届いているかどうか全く気にする必要がなくなり、わずらわしい作業から解放された。

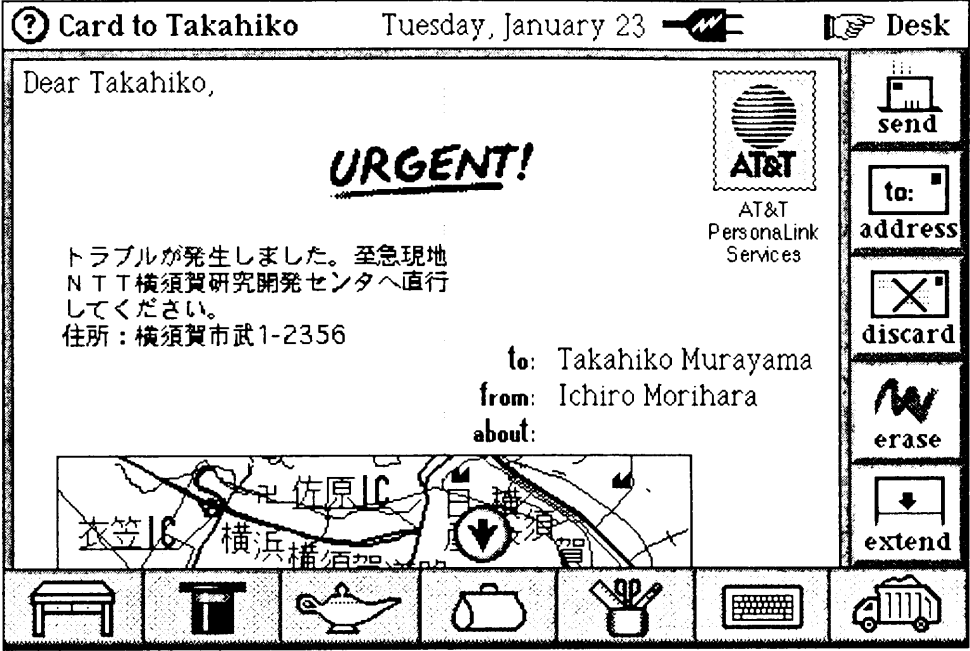


図 4.3 インテリジェントメール画面例

4.4 まとめ

ネットワーク社会における最も基本的なコミュニケーション手段である電子メールに関して、エージェントによる支援について検討した。具体的には緊急メールへの対応を行うインテリジェントメールサービスの実現方法として、状況に応じてメールの配送手段を選択するメール配送制御エージェントと、メディアの変換をつかさどる送信エージェントの組み合わせによる構成を提案した。本システムはエージェント通信システムとしては非常にプリミティブなものであるが、メールサーバというコミュニケーションインフラに埋め込まれたエージェントシステムとして、様々な発展の可能性が考えられる。

第5章 エージェント通信による情報統合の支援

5.1 はじめに

WWW の発展によって、ネットワーク上には様々な情報が公開されるようになった。しかし、その中からユーザにとって必要な情報を収集することは難しくなっている。従来からサーチエンジンなど、情報収集を支援するシステムが開発、提供されてきているが、依然として適切な情報収集は容易ではない。本章では、移動中のユーザが持つ携帯端末を用いてその周辺の情報を収集することを考え、エージェントによる実現を考えた。ここで注目しているのは、ネットワーク上に分散している情報の統合である。個別にそれぞれの目的に応じて作成された情報群の中から、必要な情報を抽出して統合するためには、情報の所在の検出、情報内容の理解、抽出、変換、重複の排除、編集など、様々な課題が存在する。本論文では、位置という視点に注目することで、これらの課題がどのように解決できるかを検討した。

5.2 インテリジェントページ

5.2.1 アーキテクチャ

インテリジェントページは、ユーザにかわってネットワーク上からショップやサービスに関する情報を収集し、それを統合してユーザに提供することを目的としている。

基本的にショップやサービスに関する情報はネットワーク上のデータベースに分散し、それぞれ日夜更新されている。これらの情報を統合するためには、何らかの共通的なオン

トログが必要となる[北村 99]. 本システムではオントログとしてNTTのインターネット版イエローページサービス(インターネットタウンページ)の情報を利用することとした. タウンページでは数千項目の職業が階層的に整理体系化されている. これらは, もともとショップやサービスの検索のために用いられるものであり, 本システムの目的のためには極めて有効なオントログであると考えられる. また, 収集された情報の「名寄せ」, すなわち同じショップの情報を統合されるためのキーとして, 電話番号が利用できるというメリットもある.

本システムのアーキテクチャを図 5.1に示す. 本システムではNeches[Neches91]らによる連邦アーキテクチャを採用している. **Interface Agent(IA)**はユーザと対話して質問の生成を支援する. **Yellow Pages Server(YPS)**は一種のオントロジーサーバで, 情報収集に必要な用語や分類体系などを提供する. **IA**はYPSと情報を共有することでユーザの要求を解釈し, 質問の生成を行うことができる. **Mediator(MA)**は仲介エージェントで, **IA**からの質問を受け, 複数の**Information Server(IS)**から必要な情報を収集し, それを統合してユーザに返す. **IS**としてはあるカテゴリのショップデータベース, 個別のショップ Web ペー

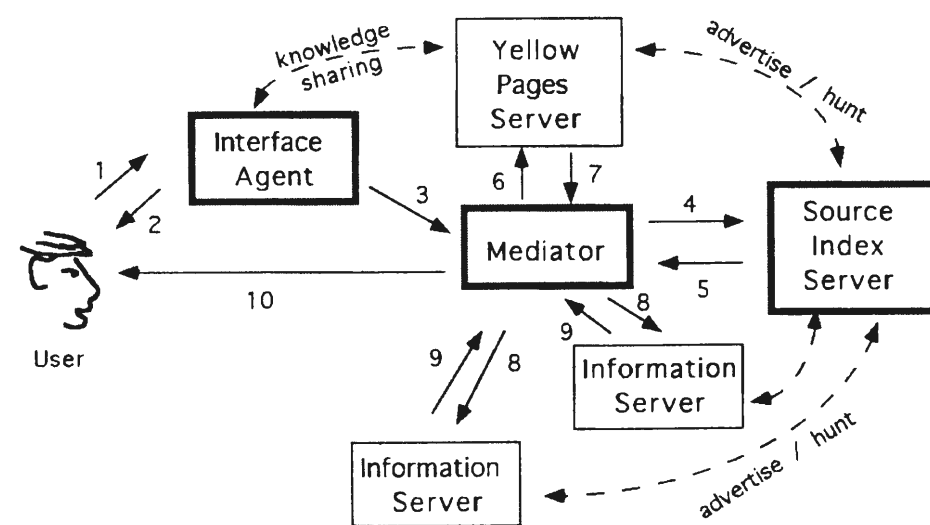


図 5.1 インテリジェントページのアーキテクチャ

ジ, あるいはショップに関する評論記事データベースなどが考えられる. **MA**は**IS**のプロファイル(**IS**のURLや情報提供形式など)を**Source Index Server (SIS)**に問い合わせさせて各**IS**が必要な情報を保持しているかどうかを判断し, それに基づいて**IS**から具体的な情報を入手して, 質問に適合した形に統合する.

本システムでは**MA**はまず**YPS**に問い合わせをしてユーザの要求にあうショップやサービスのリストを入手し, 得られたショップ名や住所, 電話番号を用いて他の**IS**を検索する. **YPS**は用語やその分類体系に基づいた網羅的なショップ等のデータベースを持っているので, ユーザの要求に合致する可能性のあるショップ等を効率よく検索することができる. **MA**は検索の結果得られた候補リストを元に, 他の**IS**からより詳細な情報を入手し, ユーザの要求により適合したショップ等を同定することができる. さらに幾つかの**IS**から得られた情報を統合することで, より豊富な情報をユーザに提供することができる.

図 5.2にインテリジェントページの構成概要を示す. **IA**はインテリジェントページクライアント, **MA**および**SIS**はインテリジェントページサーバとして実装されている. クライアントソフトは**MagicCap™**によって実装されており, **MagicCap™**端末またはPCで動作する. サーバソフトは**Telescript™**[White94]およびC++, Cを使ってUNIX上に実装されている. クライアントとサーバは電話回線によって接続されている. また, **YPS**と**IS**は通常のインターネットによってサーバと接続される.

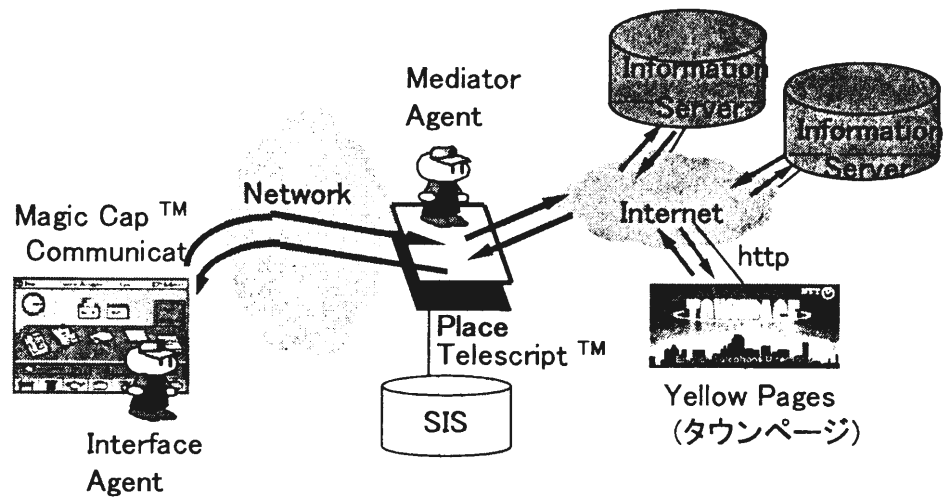


図 5.2 インテリジェントページの構成概要

5.2.2 実験

図 5.3に実際に2つのISから情報を収集した結果を表示した例を示す. 要求を入力してから結果を得るまでの時間はモデムの接続時間を入れて1分以内であった.

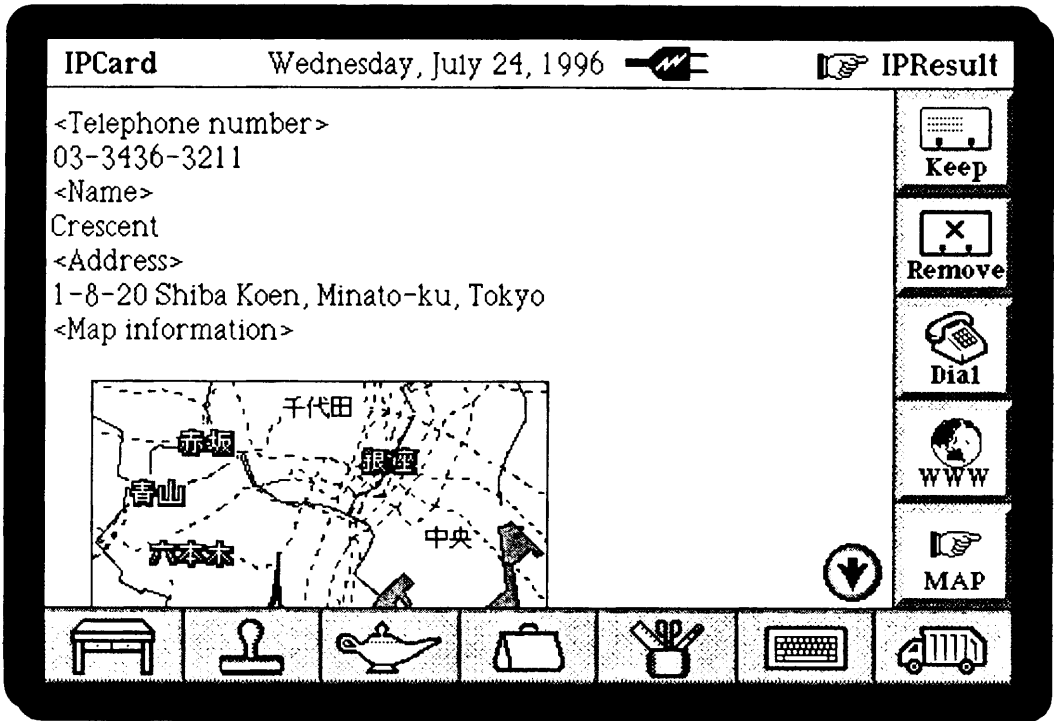


図 5.3 インテリジェントページの検索結果例

(実験1)

MA の能力をチェックするために、YPS から得られた情報に対して IS からどの程度の情報を付加できるかを実験した. 実験では YPS として 15,000 件の電話番号リストを、また、IS として 50,000 件の Web ページ情報を用意した. IS の情報は Web サーチエンジンを用いて JP ドメインから収集したものである. 表 5.1は各カテゴリに対して YPS から得られた電話番号の数と、IS から得られた対応する Web ページの数を示したものである. University and colleges の分類項目については YPS から得られた電話番号の約半数に対して対応する Web ページが存在したことがわかる. もちろん、付加情報がどの程度得られるかは収集した Web ページ情報がどの程度充実しているかによる. 実験時点では、

必ずしも十分な付加情報が得られなかったが、今後ショップ等がホームページを立ち上げる率が向上するにつれ、本システムの効果はより高まっていくことが期待できる.

表 5.1 インテリジェントページにおける商店情報

カテゴリ	YPS検索結果	SISの返却したHTMLファイル数
大学・短大	108	57
病院	411	32
学校	318	32
レストラン	636	29
団体	477	19
美術館・博物館	94	17
官公庁	49	15
出版社	174	12
ホテル・旅館	313	8
情報処理	83	6
情報サービス	39	6
ホール	29	6
画廊	81	5
データ処理サービス	28	5
大使館・領事館	154	5

(実験2)

次に、検索された結果の情報の有用性を確認する実験を行った. 表 5.2は収集された Web ページのうち無関係なページの数をチェックしたものである. 3つの検索要求のおのおのについて、10項目のチェックを行い、検索されたページの関連性を調べた. 実験の結果、無関係なページは全体で2ページのみであった. これらは学校の電話番号が連絡先として記されている学会名簿のページである. また、検索されたページの内容についても、開店時間、地図等の非常に有用な情報が得られることが確認できた.

表 5.2 インテリジェントページで収集された商店情報の内容

検索要求	Web上で検索された商店数 (掲載されたWebページ総数)	無関係なWebページ数
「東京都内のレストラン」	7 (11)	0
「東京都内の学校」	4 (14)	2
「東京都内の博物館」	10 (21)	0

上記の2つの実験によって以下が確認された。(1)電話番号をキーとするマッチングを行った結果、YPS で検索された電話番号リストのうち 5%~50%に関して WWW から追加情報を得られる。(2)無関係のページが収集されるケースは非常に少ない。これによって、MA による情報統合は有効であることが確認できたが、一方で幾つかの問題点も抽出された。一つはある対象に関して複数の Web ページが検索されたとき、それらの間の重複情報を削除することが困難であること、もう一つは、ある Web ページに複数のショップ／サービスに関する記述があるときに、それらを分割することが困難であることである。

5.3 モバイルインフォサーチ

5.3.1 アーキテクチャ

モバイルインフォサーチはインテリジェントページを発展させて、高橋らによって行われた研究であり[Takahashi00]、位置指向の情報統合の実現を目標としている。位置指向の情報統合とは、ネットワーク上にある多様な情報を、その情報が関連する地理的な位置によって統合することにより、情報をより使いやすく、価値のあるものにすることである(図 5.4)。モバイルユーザの現在位置に対して情報を提供することによって、ユーザは実世界とネットワークの両方から情報を得ることができるようになる。具体的には、ユーザの持つ携帯端末の地理的な位置を何らかの方法で検出し、その周辺の情報をネットワーク上から検索してユーザに提示するものである。

ネットワーク上の情報には大きく分けて以下の2種類が存在する。

(a) 動的なデータベース

電話帳情報、地図情報など、動的に更新される客観的な情報。

(b) 静的なファイル

レストランのホームページや掲示板のロコミ情報など、WWW の HTML ファイルとして記述され、比較的更新頻度の低い情報。

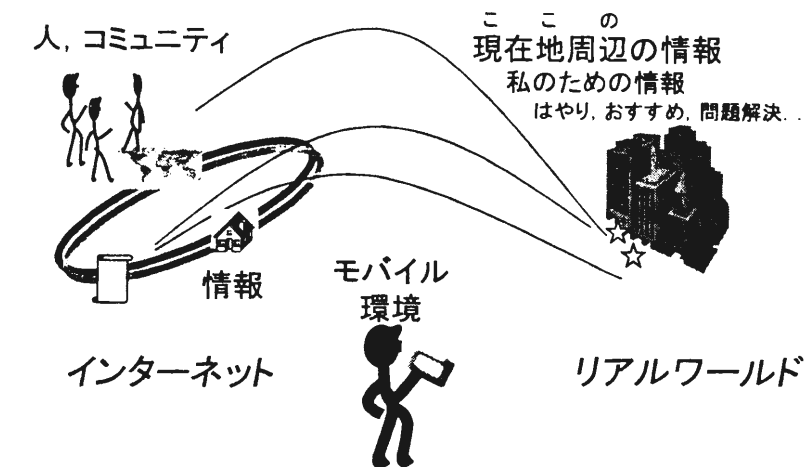


図 5.4 モバイルインフォサーチの構想 [高橋 99a]

モバイルインフォサーチではこれらの2種類の情報に対して、「位置指向のメタ検索」と「位置指向のロボット型検索」の2種類の検索方法を用意している。

(1) 位置指向のメタ検索

基本的なアーキテクチャは前節のインテリジェントページと同様であり、ユーザからの要求に対してメディエータが複数の情報源を検索し、結果を統合してユーザに提示する(図 5.5)。メディエータは位置情報に関するリポジトリと情報源に関するインデックスを持っている。位置情報リポジトリは緯度経度、住所、駅名などの位置情報の相互変換が可能な一種のオントロジデータベースである。これによってメディエータは情報源ごとに異なる位置情報の表現を解釈し、必要な情報の検索をすることができる。情報源インデックスはイ

ンテリジェントページにおける SIS であり、情報源の所在 (URL) や内容に関するメタ情報を持っている。本システムではラッパと呼ばれる変換ソフトウェアによって、各情報源のアクセス方法やデータ形式の違いを吸収し、共通のインタフェースで検索可能としている。

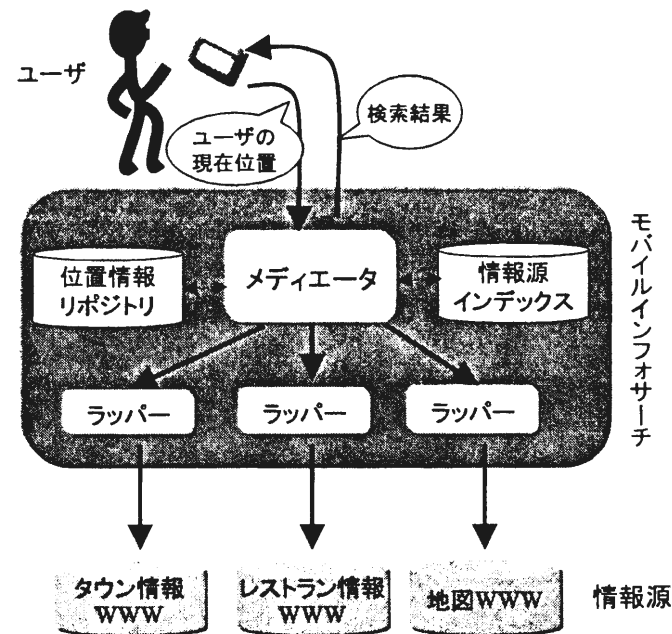


図 5.5 位置指向のメタ検索 [高橋 99a]

(2) 位置指向のロボット型検索

ネットワーク上に分散した膨大な WWW ドキュメントから必要な情報を検索するためには、WWW 探索ロボットによるアプローチが有効である。位置指向のロボット型探索ではロボットによって収集された情報から位置情報を取り出す。元情報に、取り出された位置情報を付加してデータベースにインデックス付けして蓄積しておくことにより、位置を指定した検索が可能となる。図 5.6 に位置指向のロボット型検索のアーキテクチャを示す。

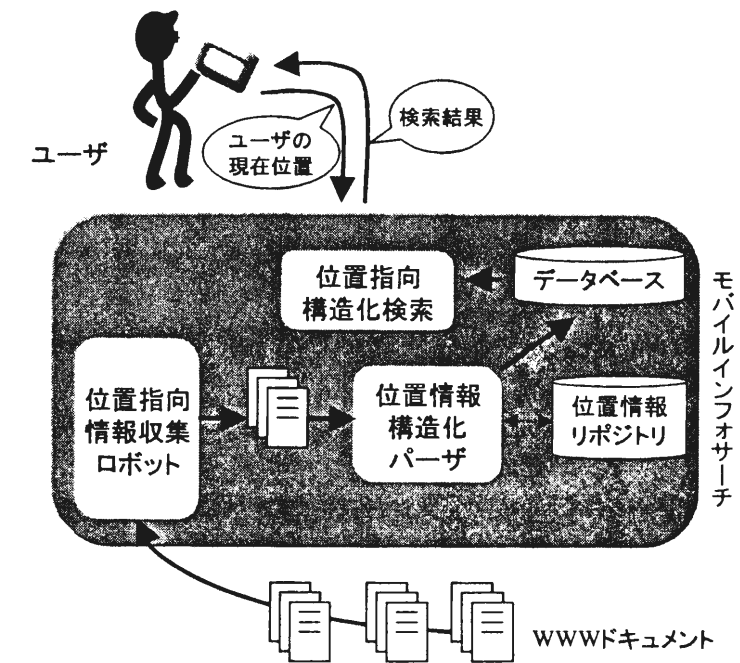


図 5.6 位置指向のロボット型検索 [高橋 99a]

5.3.2 実験

モバイルインフォサーチの実験サービスが NTT 研究所と NTT 中央パーソナル通信 (現 NTTドコモ) の共同で実施された。実験サービスのアーキテクチャを図 5.7 に示す。

1998 年 10 月から 1999 年 2 月の間に 51,799 回の検索が行われた。

図 5.8 は実験中に利用されたサービスの種類を示す。地図検索がもっとも頻繁に利用されているが、ロボット型検索やショップ検索もコンスタントに利用されている。実験によって、仲介エージェントによる異種情報源からの情報収集と統合が可能であることが確認された。また、位置情報をキーとした情報の統合が可能であることが示された。

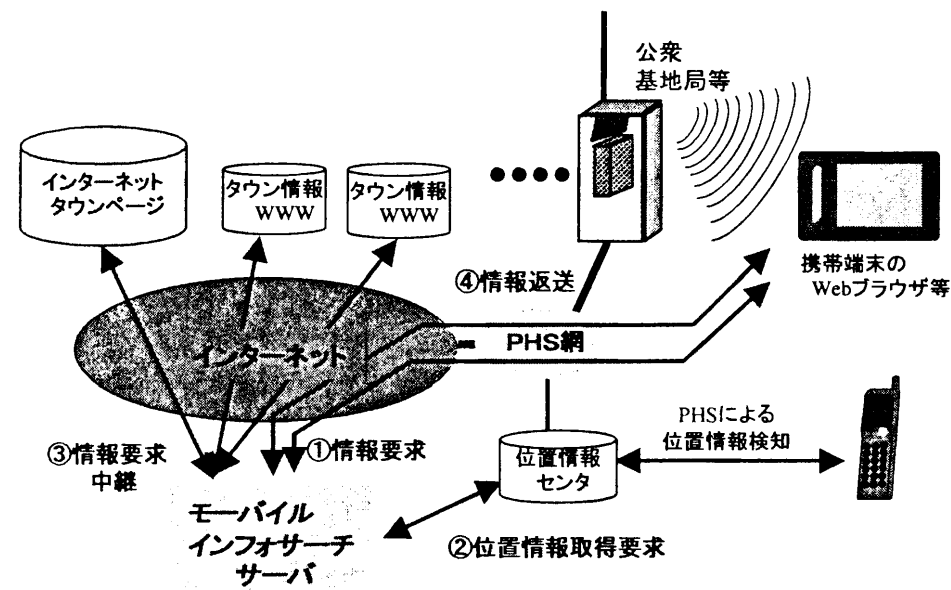


図 5.7 モバイルインフォサーチ実験サービス

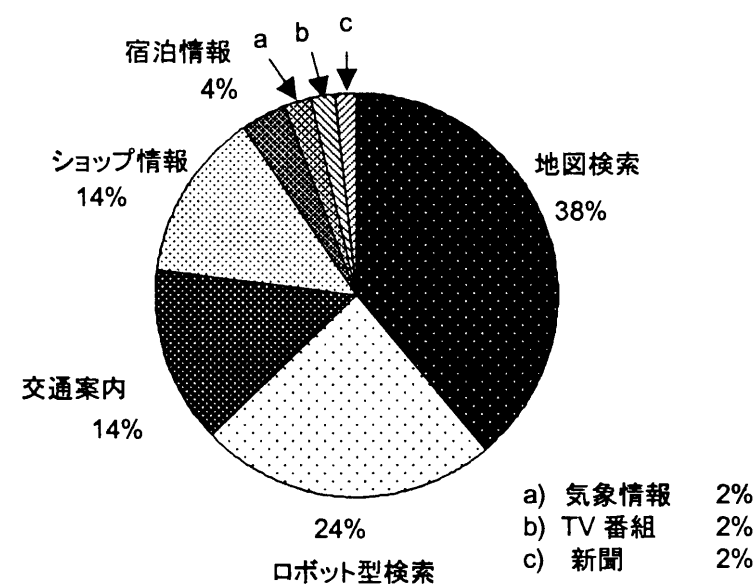


図 5.8 利用されたサービスの種類

5.4 まとめ

位置情報をキーとして、ネットワーク上から情報を収集して統合する方法について述べた。イエローページ(職業別電話帳)をインデックスとして情報を統合するインテリジェントページと、携帯端末の位置情報を検出してその周辺の情報を統合表示するモバイルインフォサーチの、2つのシステムの実現方法とその評価を示した。

インテリジェントページでは、イエローページの職業分類をオントロジとして用いることで、ユーザのあいまいな要求をきちんとした要求にマッピングすること、イエローページから得られた名称や電話番号を検索キーとして用いることで、効率よく正確な情報収集と情報の統合が可能であることが示された。実験によって収集、統合された情報がユーザの目的に適合していることが示され、本方式の有効性が確認された。

モバイルインフォサーチでは、情報源の性質によって、動的に変更されるデータベース的な情報源に関してはイエローページと同様な方式が、また静的な HTML 情報源に関しては位置をキーとする検索を行う検索ロボットを用いる方式が提案されている。モバイルインフォサーチに関しては、実際に PHS の位置検出サービスを利用した実験サービスが実施され、その有効性が確認された。

ネットワーク上に分散された異種情報の統合は、仲介エージェントの核となる機能の一つである。「位置」という限定されてはいるが明確なキー情報を用いることで、有効性が高く、効率的な情報統合システムの実現が可能であることが示された。

第6章 エージェント通信による協調活動の支援

6.1 はじめに

非定型的, 非同期的なコミュニケーションが行われるという意味で, ネットワーク上のコミュニティ活動はエージェントによるコミュニケーション支援が有用な分野の一つである. 多くのメーリングリストやパソコン通信のフォーラムなど, ネットワーク上で様々な仮想コミュニティ(ネットワークコミュニティ)が形成されている. ネットワークコミュニティは今後のネットワーク社会活動の基本となるものとして, 今後ますます重要になっていくものと予想される. ネットワークコミュニティではメンバが広域(世界的)に分散していることや, コミュニケーション手段が限定されていることから, 現実のコミュニティと比べてその活動には様々な制約が生じる. これを解決するために, エージェントによって支援していくことが考えられる. 本章ではその事例として, コミュニティ形成とコミュニティ活動を支援する2つのエージェントシステムについて述べる.

6.2 ネットワークコミュニティのライフサイクルと活動支援

ネットワーク上の社会活動が本格化するにつれて, 様々なグループがネットワーク上に形成されてくる. これらのグループには, 会社, 学校, 市場などのフォーマルなグループの他に, 趣味のグループや, 情報交換のグループなど, インフォーマルなグループが存在する(図 6.1). 後者をここではネットワーク上に形成される仮想的なコミュニティという意味で, ネットワークコミュニティと呼ぶことにする. ネットワークコミュニティはメーリングリストやチャットルームなどを通して形成されるが, ネットワークであるがゆえに, 現実のコミュニ

ティと比べて、その形成や活動に以下のような様々なハードルが存在することから、ネットワーク上のコミュニティの活動をサポートするためのシステムの構築の必要性が高まってきた。

Network Communities

= Informal Groups over networks

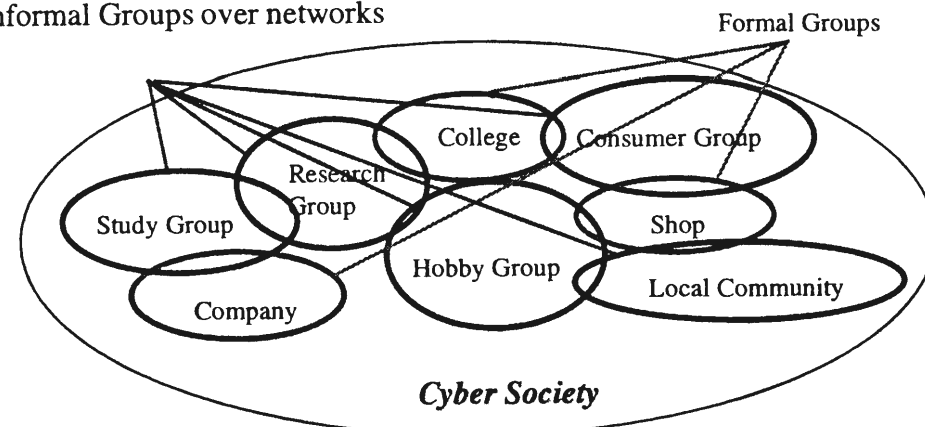


図 6.1 ネットワークコミュニティ

ネットワークコミュニティのライフサイクルを考えると図 6.2のように、形成、活動、再構成を繰り返すものと考えられ、それぞれのフェーズで、ネットワークコミュニティをサポートすることが必要とされる。ここでは、以下の3つの主要な問題点を取り上げる。

● コミュニティを形成する人々をいかに集めるか

世界中に広がるネットワーク上で、不特定多数の人々の中から興味を同じくする人を探し出し、相互に結びつけることは至難の業である。いわゆるサーチエンジンやディレクトリシステムでは不十分であることは明らかであり、より強力なシステムが求められている。

● コミュニティの中における人々の中のスムーズなコミュニケーション

ネットワーク上では、時間と場所をリアルタイムに共有していないことから、会話や議論の文脈や流れを把握するのが困難である。ネットワーク上で不幸にしてしばしば中傷合戦が起こるのは、このためによるところが大きいと考えられる。

● 人々間の関係を見つけるのが難しい

コミュニティの存在自体を知ることさえもさることながら、個々の人がコミュニティとどのように関係しているか、また、コミュニティの中でどのような役割を果たしているのかを把握することが困難である。

これらの問題はもちろん現実のコミュニティでも起こりうることであるが、ネットワーク上では時間と場所の多様性から、より顕著な形で起こってくる。したがって、ネットワーク上のコミュニティをサポートするために、何らかのシステムの実現が望まれる。

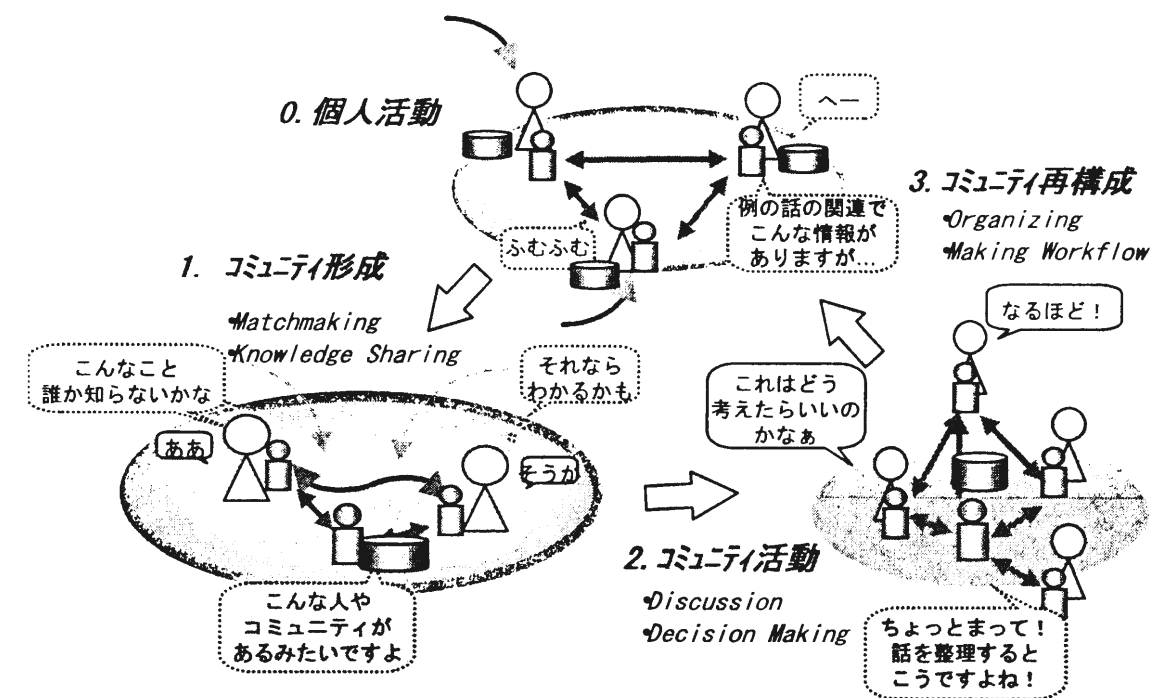


図 6.2 ネットワークコミュニティのライフサイクル

ネットワークコミュニティの特質を考えると、サポートシステムはマルチエージェントシステムとして構築するのが適切であると考えられる。第一に、ネットワークコミュニティの構成メンバは広く分散しており、かつ潜在的には非常に多数になる可能性がある。したがって、中央集権的なシステムでは実現が困難であると考えられる。二番目の特性として、コミュニティはダイナミックであるということがあげられる。コミュニティはインフォーマルであることから、随時生成され、消滅していく。また、そのメンバも絶えず変動し、個々の役割もそのときそのときに応じて変更される。これはフォーマルなグループのサポートを行うグループ

ウェアが、きちんとした組織と明確な役割を持って行われる活動をサポートするのとは対照的である。

さらに、ネットワークコミュニティでは各メンバの独自性が保持されるべきである。すなわち、各メンバはそれぞれ固有の目的や興味を保ったまま、コミュニティの活動に参加することになる。また、フォーマルな活動に比べて、個人がその興味に応じていろいろなコミュニティに参加することが多いと考えられる。サポートシステムは個々人の独自性とその興味および行動の変化への対応が求められる。

以上の特性を考慮したネットワークコミュニティのサポートシステムのアーキテクチャを、図 6.3に示す。コミュニティは個人に対応するパーソナルユニットと、コミュニティそのものに対応するコミュニティエージェント(仲介エージェント)との集合からなる。パーソナルユニットは複数のパーソナルエージェントを持つことができ、その人の活動を様々な観点からサポートする。コミュニティエージェントはコミュニティ内の情報や知識の共有機能を持ち、コミュニティメンバ間の様々な活動の仲介を行う。

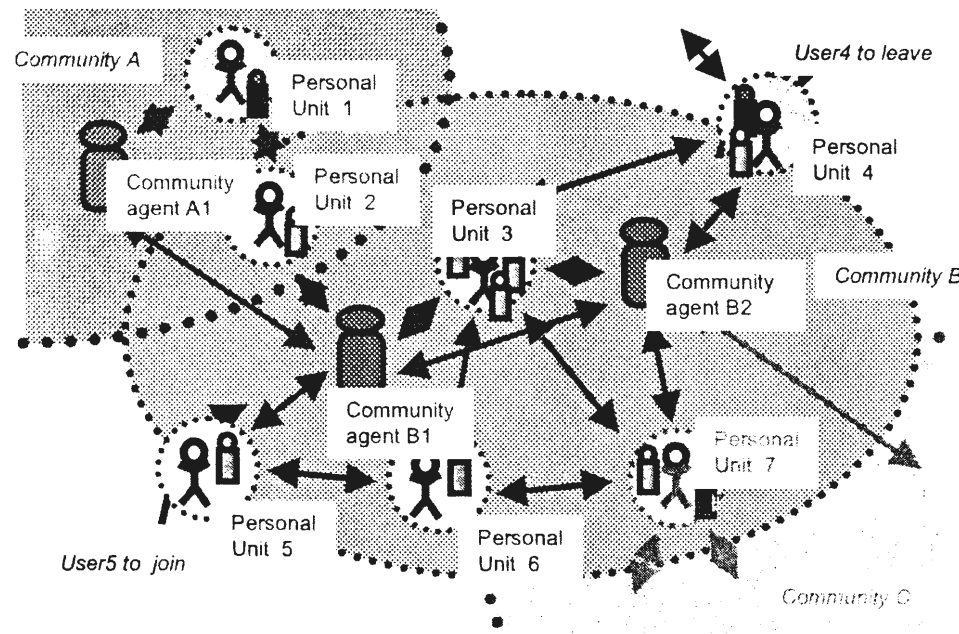


図 6.3 ネットワークコミュニティサポートシステムのアーキテクチャ

6.3 コミュニティ形成支援 —Community Organizer—

ネットワーク上のコミュニティは、現実世界の制約に縛られずに、ダイナミックに形成され活動できる点に大きな特徴がある。しかし、逆に世界中に張り巡らされた膨大なネットワークの中から、志を同じくする人を見つけ出してコミュニティを形成しなくてはならない難しさがある。Community Organizerは、ユーザ間の興味の近さの度合いに基づいて、潜在的なコミュニティを可視化することにより、共通の興味を持つ人との出会いを助け、コミュニティの形成を支援する。

6.3.1 システムの概要

システムは、各ユーザに対応するパーソナルエージェントと、コミュニティエージェントとから構成される。それぞれのパーソナルエージェントは、ユーザの興味を表すプロフィールを獲得する機能と、そのユーザの周りの潜在的なコミュニティを可視化する機能を持っている。コミュニティエージェントはユーザプロフィールを収集して、潜在的なコミュニティに関する情報の維持を行う。

パーソナルエージェントからの要求に基づいて、コミュニティエージェントは、そのパーソナルエージェントに対応するユーザの周りの潜在的なコミュニティを計算し、そのコミュニティに含まれる人々と、人と人との間の関連度(興味の近さの度合い)を表す情報をパーソナルエージェントに返却する。パーソナルエージェントはその情報に基づいて、人を表すアイコンを、アイコン間の距離がユーザ間の関連度を反映するように二次元平面上に配置する。ユーザ自身のアイコンはそのビューの中心に置かれる。各アイコンをクリックすると対応する人の個人情報が表示される。図 6.4に Community Organizerの画面例を示す。

人々間の関連度は、それぞれの人のプロフィールデータに基づいてコミュニティエージェントによって計算される。プロフィールは、ユーザ自身の入力、あるいはユーザ個人のWebページやメールのアーカイブからキーワードを抽出することによって、各ユーザの特徴ベクトルとして作成される。次にユーザ間のプロフィールを比較することによって関連度が計算される。

ユーザの目的やコミュニティの性格によって、プロフィールを構成するキーワードの重み

は変わってくる。ユーザは画面上のスライドバーを操作することによって、キーワードの重み付けを一時的に変更することができる。パーソナルエージェントは、変更された重み付けに基づいて、ユーザ間の関連度を再計算し、アイコンを再配置する。

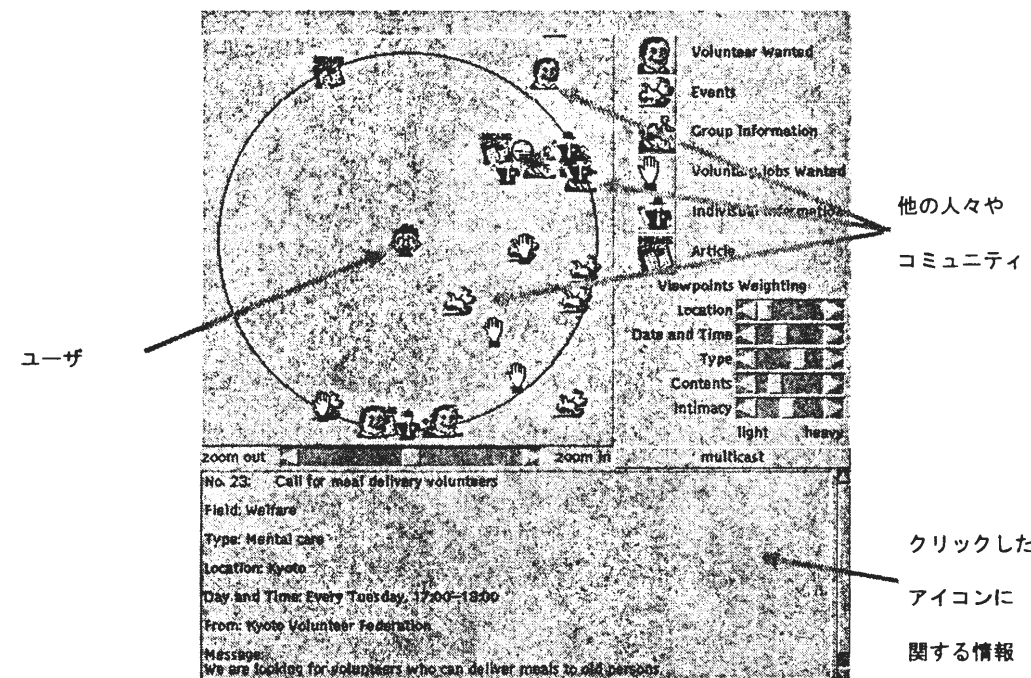


図 6.4 Community Organizer のユーザビューの例

さらに、パーソナルエージェントは重み付けに対するユーザのフィードバックを学習する機構を持つ。ユーザが、ある人のアイコンが適切な位置に置かれていないと感じたとき、パーソナルエージェントにそれを指示することによって重み付けが変更される。

ユーザはアイコンが表示されたビュー上のある範囲を指定して、その中に表示されている人々にメッセージを同報することができる。さらにユーザは各々のキーワードに対する重み付け(ビュー)を相互に交換することができる。ビューを受け取った人は、そのビューが自分の目的に合致していれば、自分の重み付けに取り入れることができる。この機能は、お互いの興味を明確化し、相互に共有することで新しいコミュニティの形成に有益であると考えられる。

以上のようにして、Community Organizer は人々の間の興味の近さを表示することで、ユーザの周りの多様な潜在的コミュニティの発見を可能にする。さらに重み付けの変更や交換でいろいろなコミュニティの可能性を試すことができ、これによって新しいコミュニティの形成を支援する。

6.3.2 潜在的なコミュニティの可視化

Community Organizer は、ユーザ間の興味の近さに基づき、潜在的なコミュニティを可視化する。ユーザの興味はユーザのプロファイル情報から導出される。プロファイル情報を獲得するには、例えばユーザ自身にプロファイルを入力してもらう方法があるが、ユーザにとっては面倒で時間がかかる。そこで、ユーザが過去に書いた文書、例えば個人的なWebページやメールのアーカイブから、キーワード抽出によってプロファイルを生成することを考える。

システムはまずあるグループ内のユーザの個人的な文書を集める。具体的には、ユーザのホームページのURLからリンクをたどってWebページを集めたり、メーリングリストのアーカイブを送信者別に分けたりする作業を行う。次にユーザ毎に分けられた個人的文書から、重要と思われるキーワードを抽出する。そして、それらのキーワードの文書中での出現頻度を調べることによってキーワードに重み付けをし、各ユーザの特徴ベクトルを生成する。すべてのユーザの特徴ベクトル間の関連度が内積を用いて計算され、最終的にグループ内の関連度行列が出来上がる。

関連度の計算手順の詳細は以下のとおりである。 n をグループの人数、 m をキーワードの数とする。人 i の特徴ベクトルは、

$$\vec{f}_i = \langle f_i^1, \dots, f_i^m \rangle$$

と表され、 i と j の間の関連度は i の特徴ベクトルと j の特徴ベクトルの内積

$$r_{ij} = \vec{f}_i \cdot \vec{f}_j$$

で定義される。関連度行列 R はすべてのペアの間の関連度の行列である。

$$\mathbf{R} = \begin{vmatrix} r_{1,1} & \cdots & r_{1,n} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{n,1} & \cdots & r_{n,n} \end{vmatrix}$$

$$= \begin{vmatrix} \bar{f}_1 \cdot \bar{f}_1 & \cdots & \bar{f}_1 \cdot \bar{f}_n \\ \vdots & & \vdots \\ \bar{f}_n \cdot \bar{f}_1 & \cdots & \bar{f}_n \cdot \bar{f}_n \end{vmatrix}$$

得られた関連度行列 \mathbf{R} を可視化するために、システムはバネモデル[Chalmers92]を用いてユーザアイコンを二次元平面上に配置する。すなわち、システムはユーザアイコン間にメッシュ状に仮想的なバネを張り、バネの自然長が、繋がれた二つのアイコンが表す人と人との間の関連度に比例するようにする。これを平面上に置くと、各アイコンはバネが均衡するように移動する。その結果、ユーザアイコンは関連するユーザどうしが近くに、関連しないユーザは遠くに置かれる。ユーザは、このビューを見ることによって、自分の周りに同じような興味を持つ人がどのように分布しているかを知ることができる。

ビューの作成は各ユーザに対応するパーソナルエージェントによって行われ、そのユーザはビューの中央に配置される。また、バネの強さは中央のユーザとそれ以外のユーザとの間の自然長がより保たれるよう調節される。すなわち、中央のユーザとそれ以外のユーザのバネは強く、まわりのユーザ間のバネは弱くする。これによって、関連度行列がすべてのエージェントで共通であっても、作成されるビューは各ユーザに特化したものになる。

6.3.3 キーワードの重み付けのフィードバック

本システムでは、ユーザの個人的な文書からキーワードを抽出する。しかしながら、抽出されたキーワード集合は、ユーザを特徴付けるのに重要でなかったり、関係のないようなキーワードを含みうるので、ユーザ間の関連度の計算において、すべてのキーワードを等しく用いることは適切でない。そこで、関連度の計算において、キーワードに重みを付け、この重み付けの望ましい値をユーザからのフィードバックによって学習する機構を導入する。

ユーザからのフィードバックは次のように与えられる。ユーザははじめに、自分が中央に

配置されているビューを見る。そこで自分と興味を同じくしていないと思われる人が、自分のすぐ近くに配置されていると、それを自分のパーソナルエージェントに伝える。するとエージェントは、示された人とユーザ自身との間の関連度が減少するよう、キーワードの重み付けを変更する。そして、新しい重み付けを用いて全ユーザ間の関連度を再計算し、変化したビューを表示する。

重み付けの詳細な手順は以下のとおりである。キーワードの数を m 、キーワードへの重み付けを

$$\bar{w} = \langle w^1, \dots, w^m \rangle$$

とする。特徴ベクトル \bar{f}_i は \bar{w} によって

$$\bar{g}_i = \langle g_i^1, \dots, g_i^m \rangle$$

$$= \langle w^1 f_i^1, \dots, w^m f_i^m \rangle$$

のように重み付けされる。 i と j の間の重み付けされた関連度は、

$$r_{i,j} = \bar{g}_i \cdot \bar{g}_j$$

関連度行列 \mathbf{R} は、

$$\mathbf{R} = \begin{vmatrix} r_{1,1} & \cdots & r_{1,n} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{n,1} & \cdots & r_{n,n} \end{vmatrix}$$

$$= \begin{vmatrix} \bar{g}_1 \cdot \bar{g}_1 & \cdots & \bar{g}_1 \cdot \bar{g}_n \\ \vdots & & \vdots \\ \bar{g}_n \cdot \bar{g}_1 & \cdots & \bar{g}_n \cdot \bar{g}_n \end{vmatrix}$$

となる。

ユーザはビューを見て、フィードバックの標的を指示する。いま、ユーザ i が、自分と近過ぎるユーザ j を選んだとする。このとき、各キーワード k について、 k に対するそれぞれの重み付き特徴量 g_i^k および g_j^k の差が大きい場合、エージェントは重み w^k を大きくし、差が小さい場合は w^k を小さくする。すなわちフィードバックを表す関数を F 、特徴量の差の関

値を s とすると,

$$w^k \leftarrow F(w^k) = \begin{cases} w^k + \delta & \text{if } |g_i^k - g_j^k| \\ w^k - \delta & \text{otherwise} \end{cases}$$

これにより, i と j で特徴量に差があるようなキーワードがより重視されるようになり, 結果として j が i から遠ざかる.

6.3.4 協調フィードバック

前節で述べた学習過程は, エージェント間の協調を導入することにより改善することができる. 具体的には, エージェント間で重み付けの値を交換することにより, ユーザからのフィードバックの関数を減らすことが可能である.

協調の手順は以下の通りである. エージェント h による重み付けを

$$\bar{w}_h = \langle w_h^1, \dots, w_h^m \rangle$$

とする. h によって重み付けされた i の特徴ベクトルは

$$\begin{aligned} \bar{g}_{h,i} &= \langle g_{h,i}^1, \dots, g_{h,i}^m \rangle \\ &= \langle w_h^1 f_i^1, \dots, w_h^m f_i^m \rangle \end{aligned}$$

h によって重み付けされた i と j の間の関連度は

$$r_{h,i,j} = \bar{g}_{h,i} \cdot \bar{g}_{h,j}$$

であり, h によって計算された関連度行列は

$$R_h = \begin{bmatrix} r_{h,1,1} & \cdots & r_{h,1,n} \\ \vdots & & \\ r_{h,n,1} & \cdots & r_{h,n,n} \end{bmatrix}$$

となる.

エージェント h は得られた R_h を用いて単独でフィードバック F_h を行い, 重み付け $F_h(\bar{w}_h)$

を計算する. フィードバックが行われるたびに, 全エージェントはそれぞれの重み付け $F_1(\bar{w}_1), \dots, F_n(\bar{w}_n)$ を交換する. そして, h は, 受け取ったすべての重み付けから新たな重み付けを合成する. 重み付けの合成をあらわす関数を X とすると,

$$w_h \leftarrow X(F_1(\bar{w}_1), \dots, F_n(\bar{w}_n))$$

重み付け合成関数 X の実装の方法は幾つか考えられる. ここでは二通りの方法でこれを実装した. 一つは, 受け取った重み付けの平均を計算する方法である. この場合, すべてのエージェントの重み付けは等しくなる.

$$X(\bar{w}_1^k) = \dots = X(\bar{w}_n^k) = \frac{\sum_{i=1}^n F_i(w_i^k)}{n}$$

別の方法は, 受け取った重み付けを加味するときに, 関連度を考慮する. 自分と近いエージェントの重み付けほど, 自分にとっても有効であるとの仮定のもとで, h は, i から受け取った重みと h と i との間の関連度の値を掛け合わせる. 関数 X は,

$$X(w_h^k) = \sum_{i=1}^n r_{h,h,i} F_i(w_i^k)$$

となる.

6.3.5 協調フィードバックの実験と評価

ユーザからのフィードバックによるキーワードの重み付けの変更を評価するため, 実験を行った. ICMAS'96 国際会議の発表者のうち, 40 名のホームページから 277 個のキーワードを選択した. ユーザは表示されたビューから自分と興味を同じくしない人のうち, もっとも近くに置かれている人を選んでフィードバックを与えると仮定する. あるユーザが別のユーザと興味を同じくするかどうかは, 著者らの知識と直感に基づき決定した. 本実験では, 40 名からなるユーザ集合について, 40×40 の真理値 (関連する / しない) を持つ正解行列が著者らによって作成された.

実験の評価にあたっては, フィードバックの性能を測る目安として, 適合率 (precision) と再現率 (recall) を用いた. 適合率とは, 得たデータのうち正しいデータ (実際に関連の

あるデータ)の割合、再現率とはすべての正しいデータのうち、得ることができたデータの割合である。一般に、適合率と再現率はトレードオフの関係にある。

図 6.5は、ある二つのエージェントにおいて6.3.3節で述べたフィードバック手法を適用した場合の、適合率と再現率の変化である。左右の軸は再現率、上下の軸は適合率、前後はユーザインプットの回数を表す。グラフから、フィードバックを重ねるごとに同じ再現率での適合率が向上しているのがわかる。

図 6.6は同じ条件下での、単独フィードバックと協調フィードバックの比較を示している。左右の軸は全ユーザからの入力回数の合計を表し、上下の軸は再現率が 60%のときの適合率の平均値を表す。グラフ中で、**independent** の線が協調しないフィードバックの結果を、**relevance** が関連度を考慮した協調フィードバックの結果を、**average** が平均を用いる協調フィードバックの結果を表す。55%の適合率と 60%の再現率を得るために必要なユーザ入力の回数が、エージェント間の協調を導入することによって、約 130 回から 70 回に(1ユーザあたり 3.2 回から 1.8 回に)約 45%減少している。協調の方法(平均または関連度考慮)による違いはあまり影響しなかった。この理由の一つとして、ユーザの数が少ないためユーザの観点到に偏りがなかったことが考えられる。望ましい重み付けがユーザによって大きく異なる場合には、関連度の考慮が重要になると思われる。

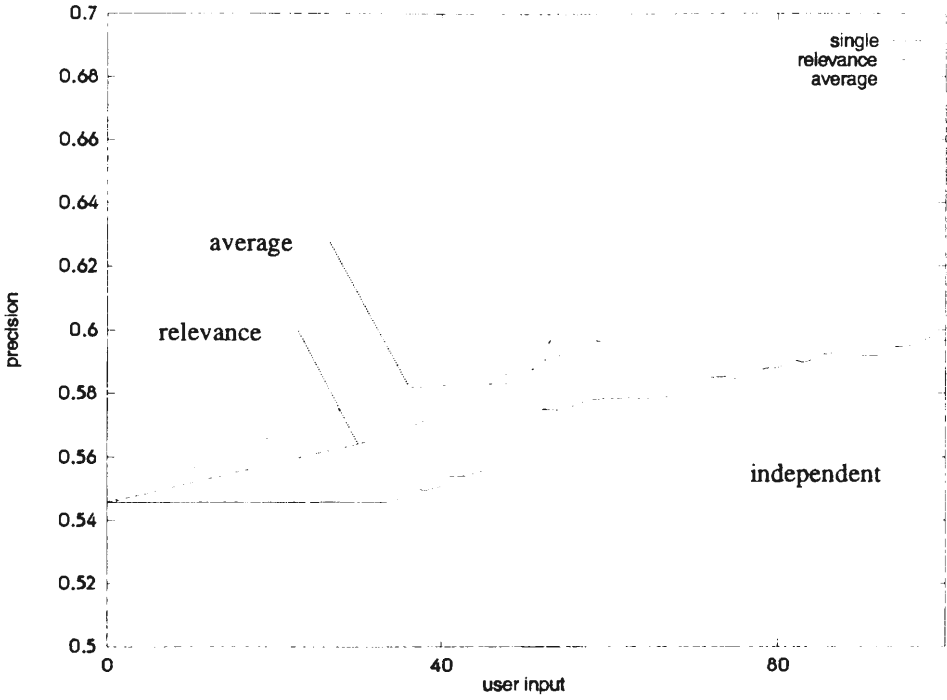


図 6.6 単独／協調フィードバックの比較

6.3.6 Community Organizer の評価実験

コミュニティの形成を支援する上での **Community Organizer** の有効性を検証するために評価実験を行った[亀井 00]。この実験では、**Community Organizer** が提供する機能の一つである可視化手法を対象として、本来の可視化手法を用いたものと、**WWW** のサーチエンジンに類似した表示方法を用いたものの 2 種類のソフトウェアを用意した。それぞれについて 1 週間の運用実験を行った後に、ユーザの主観的評価を問うためのアンケートを行い、またユーザの行動を記録したログファイルから客観的指標を抽出し、それぞれに有意な差が見られるかどうかを検定することで有効性の検証を行った。

(1) 実験方法

2種類のソフトウェアを用意して、対称実験を行った(図 6.7)。a)の**full version**は前節までで説明した**Community Organizer**であり、b)の**listing version**は本実験のために比較対

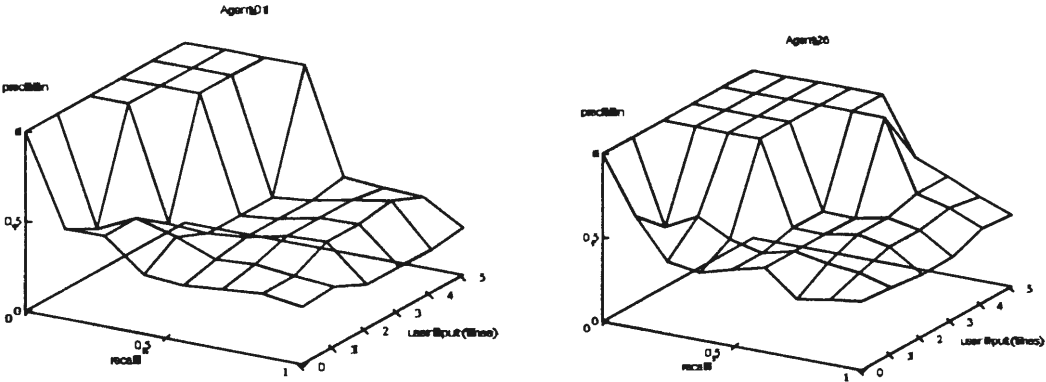
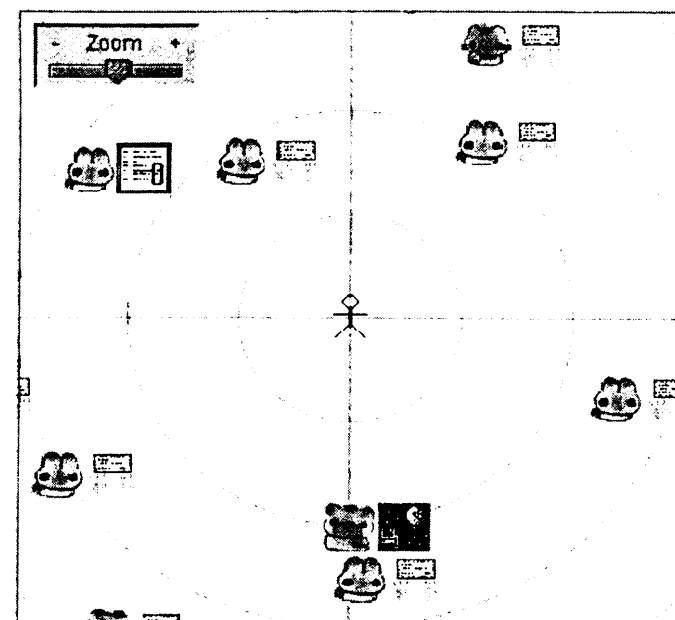
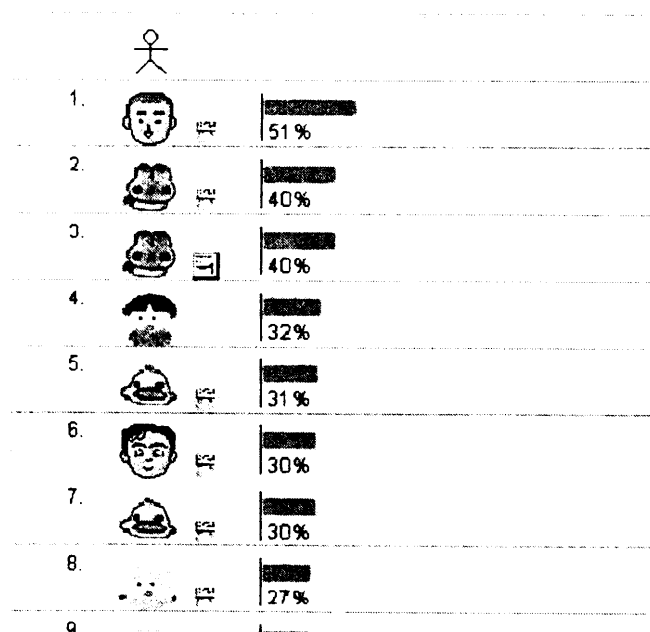


図 6.5 フィードバックによる適合率と再現率の変化



(a) full version



b) listing version

図 6.7 実験で用いた2種類の可視化手法

象として用意したものである。これらは表示方法以外では完全に同等の機能を持つ。full versionでは、オブジェクトを表すアイコンは二次元平面上に配置される。画面上に表示される全てのオブジェクトの組についてオブジェクト間の距離を定義し、その距離をなるべく満たすような配置を求めている。listing versionでは、ユーザの視点を表わすオブジェクトと他のオブジェクトの間でのみ類似度を求め、類似度の順に列挙して表示を行う。これはWWWのサーチエンジンの出力などで見られるような画面となる。

2組の被験者群を用意し、それぞれのグループは1種類のソフトウェアを利用した。研究所内で勤務する20代から50代までの42名が被験者として実験に参加した。性別、年齢、ネットワークコミュニケーションへの習熟度についてWWW上でプレテストを行い、上記の各項目についてバランスするよう、それぞれ21名からなる2つの実験群に被験者を割り当てた。被験者の職場環境において、被験者が普段用いているPCにCommunity Organizerをインストールし、1週間の実験期間にわたって利用するよう依頼した。その間の利用頻度および利用時間は被験者の自由とした。ソフトウェアの詳細な操作方法是、WWW上のオンラインマニュアルとして提示し、質問はメールにより個別に受け付けた。匿名性を保つため、被験者にはハンドルネームの使用を強制し、実験参加者であることを明かすことは禁止した。

(2) 観測値

コミュニティの形成やコミュニティ内の情報流通にCommunity Organizerが与える影響を調べるため、以下のような仮説を立て実験により検証することにした。

[仮説]Community Organizer (full version)の利用者はlisting versionの利用者に比べて、

- (ア) 強くコミュニティを感じられる。
- (イ) グループ内の人々の存在を感じられる。
- (ウ) コミュニケーションを楽しめる。
- (エ) ソフトウェアを使い易く感じる。
- (オ) 長時間アクティブに利用する。

上記の仮説を検証するために、以下の方法でユーザの「コミュニティ感覚」を測定した。まず、被験者の主観的印象を調べるため、WWW上でのアンケートを行った。このアンケ

ートでは以下のような質問に対して、1点から8点までの8段階の選択肢を提示した。

- 何人ぐらいの人と出合いを感じる事が出来たか。
- 実際に利用した時間はどの程度か。
- コミュニケーション機能(公開メッセージやチャット)を楽しむことができたか。
- ソフトウェアが使い易いと感じたか。

また、ユーザの操作を記録したログデータより、以下のような客観的な指標を抽出した。

- 総ログイン時間・回数
- 有効な利用時間・回数
- ユーザアイコンの作成数
- 公開メッセージへのアクセス・リプライ回数
- チャットでの発言数

(3)実験結果

前述の観測値に対して片方向のt-検定を行い、有意差のあったものを表に示す。表 6.1はアンケートから得られた結果、表 6.2はログファイルを解析して得られた結果である。

表 6.1 アンケートへの回答(8段階評価)

変数	full	listing	t-value
コミュニティの存在を感じられた	4.95	3.61	2.12*
多くの人との出合いを感じられた	6.00	3.81	2.40*
公開メッセージの送信機能が気に入った	5.94	4.72	2.07*
チャット機能が気に入った	4.69	3.2	2.33*

(*: p < .05)

表 6.2 ログファイルの解析結果

変数	full	listing	t-value
総login期間(分)	1329.54	652.49	2.10*
公開メッセージを読んだ数(回)	145.16	75.95	2.70**
チャットでの発言数(回)	23.47	7.85	1.82*
アクティブに利用した機会(回)	23.32	15.40	1.99*
アクティブに利用した期間(分)	277.44	144.00	2.65**

(*: p < .05, **: p < .01)

我々の第1の仮説と矛盾することなく、full versionのユーザは、listing versionのユーザに比べて強いコミュニティ感覚を得られていた(t=2.06, p<0.05)。また、より多くのユーザとの出合いを認識しており(t=2.40, p<0.05)、第2の仮説も支持された。

ソフトウェアの利用に関して、full versionのユーザは公開メッセージの機能(t=1.96, p<0.05)と、チャットの機能(t=2.33, p<0.05)を楽しむことができたと感じている。またログファイルの解析結果からも、full versionの被験者が積極的にコミュニケーションを取ろうとしたことが、公開メッセージを読んだ数(t=2.70, p<0.01)やチャットでの発言数(t=1.81, p<0.05)でも示されている。これらの結果は仮説3 を支持する。一方、仮説4のソフトウェアの使い易さに関しては、アンケート結果からは有意な差は見られなかった。これより、表示方法の差は主観的な使用感に影響を与えていないと言える。仮説5の利用時間に関して、ログデータから得られた総ログイン時間には有意な差があるが、この数値にはユーザがログイン中に離席している期間なども含まれてしまうので正確な指標とはならない。そこで、ユーザが何らかのイベントを起こす間隔を調べ、連続するイベントの間隔が10 分未満であるときを「ユーザがアクティブに利用している期間」と定義して、利用時間の指標として再構成した。full versionのユーザがアクティブに利用した時間は、listing version

のユーザよりも有意に長く($t=2.65$, $p<0.01$). その差は2倍にのぼった. ユーザが連続して利用する期間は, どちらの実験群においても11分程度で同等であったが, 利用機会は **full version**のユーザの方が有意に多かった($t=1.99$, $p<0.05$).

(4) 考察

実社会におけるコミュニティ経験に類似する直感的な2次元空間表示が与えられることで, ネットワークコミュニティにおける行動が容易になることを実験結果は示している. 比較対称として用意した**listing version**のインタフェースはサーチエンジンのように特定の情報を検索するという場合には便利なものであるが, ユーザがコミュニティを発見し, 他のユーザとコミュニケーションを始めることの助けにはなっていない. 他方, **full version**の **Community Organizer**は, コミュニティに対するユーザの興味を高めてグループの一員であるという感覚を与え, 積極的にコミュニケーションを行うことを支援できたといえる.

ただし, 今回の実験で用いた**Community Organizer**は, さまざまな面で使い易さに改善の余地があった. 例えば, 新たなメッセージを置いたり他人のメッセージを読むために, 何度かマウスをクリックしなければならないなどの問題点があった. 実際に被験者からの意見として, もっと簡単な操作で他人とのコミュニケーションを実現したいというものが寄せられていた.

(5) まとめ

本論文では, コミュニティの形成を支援するシステム**Community Organizer**を紹介し, その効果を調べる実証実験について報告した. この実証実験の結果からは, **Community Organizer**の表現方法がユーザ間のコミュニケーションを支援するのに効果的であったと結論付けることができる. もっとも, この実験結果はコミュニケーションツールとしての評価を示しているに過ぎず, コミュニティの形成を支援できていることを直接に示すものではない点が問題として残っている.

6.4 コミュニティ活動支援 —CommunityBoard—

CommunityBoard はコミュニティ内での議論を支援するシステムである. 議論のコンテキストを明確化し, コミュニティ内での情報の共有化を目的としている.

現在ネットワーク上では, メーリングリストやfjなどのニュースグループの中で, 様々な人が様々な話題について話し合いを行っている. しかし, 交換されるメッセージ数の多さやメッセージ間の関係把握の難しさから, 何が話されているかを理解することは容易ではない. 従来のメールリーダーやニュースリーダーを用いて, 何が話されているかを理解しようとすると, 詳細に全メッセージを読むという作業が必要となる. また, 理解の困難さだけでなく, 発言を躊躇するといったように, 自ら行動を起こす場合にも困難さが存在する. これはメーリングリストなどが通信路の提供にとどまり, 理解や行動を助ける手段が提供されていないからである.

そこで, 我々はメーリングリストやニュースグループといったメッセージ交換による話し合いにおいて, 話し合い状況の理解を容易にし, 話し合いを活性化する議論支援システム**CommunityBoard**を開発した. 本システムは, 「誰が」, 「いつ」, 「何を」話したかという3要素を統合して2次元平面上に表示するものである. これにより, 話し合いの参加者は, 話を進めるのに貢献している人を一瞥して見つけたり, 最近の話題か過去の話題かを瞬時に判断したり, 既出の話題かどうかを容易に判断することが可能となる.

6.4.1 システム概要

(1) 基本設計

ここでは, メーリングリストに見られるようなネットワーク上で多数の者が様々な話題に関して非同期にメッセージを交換している状況を想定する. このとき, 話し合いを円滑に進める上で以下に挙げる困難さが存在する.

- どのメッセージを読めばよいか判断できない.

これはメッセージの全体量が個人の処理能力を越えて多くなることによる. 例えば, 活動の活発なメーリングリストでは, 一日に数十通というメッセージが交換される. 複数のメーリングリストに属していれば, さらに状況は悪くなる.

また、各メッセージに含まれる情報の質に差が存在することも原因となる。例えば、車に関するメーリングリストでは、燃費の話題、タイヤチェーンの話題など話題が多岐に渡ることが多い。標題による選択は有効であるが、標題間の関係を把握することは容易ではないため、十分ではない。

- 読むべきメッセージを選べたとしても、メッセージの内容を理解できない。

これは、文脈を把握しないと、メッセージの中に含まれる言葉の意味を十分理解できないことによる。文脈を把握するには、関連するメッセージを合せて読む必要があるが、これは上述のように簡単ではない。

また、各メッセージには関連メッセージが部分的に引用される場合も多い。この引用が適切でなければ、内容理解に支障をきたす。

- メッセージの内容を理解できたとしても、自己が発言しようとするとき、いつ、誰に向かって発言すればよいかわからない。

これは、参加者がコミュニティ内の規則、規範を十分理解できていないことによる。参加者の役割や、問題の処理手順を短時間で理解することは難しい。

これらの問題を解決するために、議論の構造を可視化する議論支援システム **Community Board** を開発した。図 6.8に画面イメージを示す。画面にはメッセージがアイコンとして表示される。各メッセージは以下のフィールドを持つ。

$$\langle message \rangle ::= \langle id \rangle \langle from \rangle \langle date \rangle \langle keyword \rangle \langle reply-to \rangle \langle body \rangle$$

キーワードはメッセージの内容を表すもので、メッセージ投稿者により与えられる。

システム構成はサーバとクライアントよりなる。サーバには使用者からの投稿メッセージが保存される。また、キーワード間の関連度を与えるデータベースを持つ。例えば、「犬」と「猫」は 0.7, 「犬」と「熱帯魚」は 0.3 といった形で与えられる。クライアント側は以下の機能を使用者に提供する。

- 話し合い構造の視覚化

サーバに蓄積されたメッセージを取り出し、使用者の画面上に次節で述べる方法でメッセージを表示する。

- 個々のメッセージ内容の表示

図の左上に開いたウィンドウは、アイコンで表示されているメッセージの内容を表している。

- メッセージの新規作成

図の右上に開いたウィンドウは、メッセージ新規入力ウィンドウである。使用者は、**CommunityBoard** の上で新規メッセージを作成できる。

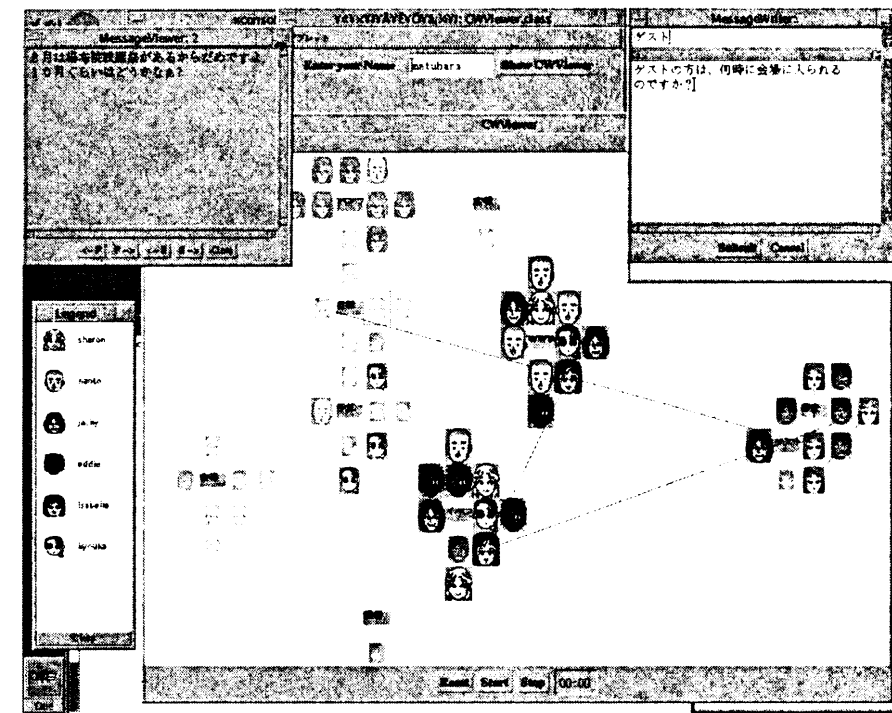


図 6.8 語らい支援システム **Community Board** の画面イメージ

(2) 話し合い構造の視覚化

本システムは各メッセージを一つのアイコンとして表示する。アイコンの形、色、画面上での位置はそれぞれ、メッセージの投稿者、メッセージが投稿されてからの経過時間、メッセージに含まれる話題を表す。

誰が: 参加者一人一人異なるアイコンを使用して表示する。

いつ: 最近投稿されたメッセージのアイコンは濃く大きく表示される。時間の経過に従い、薄く小さく表示されるようになる。一定時間以上経過したメッセージのアイコンは

画面上から削除される。どれくらい時間の経過したメッセージをどれくらいの濃度のアイコンで表現するかについては使用者が操作できる。

何を: アイコンは2次元平面上に配置される。関連度の大きい話題を有するメッセージのアイコン同士は画面上でも近くに配置される。キーワード間の関連度はサーバの関連度データベースのデータを用いて決定される。表示位置は多次元尺度構成法を用いて決定される。新たなキーワードを持つメッセージを受け取ると、全体の配置が更新される。

(3) 支援内容

議論支援システムの使用は話し合い状況の理解と参加に関する意思決定を以下の点で支援する。

● 人に関して

- ある話題についての話し合いに参加する／しないという意思決定が容易になる。これは、ある話題の話し合いに誰が参加しているかを見ることで、自己が発言した場合に、どのような反応が返ってくるかをある程度予測できるためである。例えば、知り合いが話し合いに参加しているか、参加していないかということは自己の参加を決定する大きな要因となる。本システムでは、一瞥して知り合いの参加の有無を判断できる。
- ある話題について誰に尋ねれば欲しい情報を得られるか推測することができる。ある話題についてよく発言している者は、その話題に関する知識を多く持っていると考えられる。よって、よく発言している者を見つけて、その者から情報獲得を試みるのが有望である。コミュニティには目的や規模など様々なものが存在するが、質の良い情報も含まれれば、誤りを多く含んだ情報も含まれる。このような場合には、誰から情報を得るか、誰が信頼できそうかという判断材料をシステム側から提供できれば、非常に有益である。

● 時間に関して

- アイコンの濃淡を見ることで、使用者は最近何についてよく話されているか簡単に知ることができる。最近の話題であるか過去の話題であるか知ること、使用者はそれに合せた話し方をすることができる。また、自己が発言した場合にどれくらい反応が

あるか、どれくらい速く反応があるかを推測することができる。最近の話題であるほど、多くの参加者が興味を持っていると推測できるため、最近の話題の話を持ち出せば、速く反応があると期待できる。

- 使用者はどの話題からどの話題が派生してきたかといった話題の遷移を知ることができる。この遷移を知ることは文脈を把握するのに役立つ。

● 話題に関して

- 使用者は意味の上での話題間の関係を容易に把握することができる。これは関連する話題は画面上の近くに配置されるからである。どのような話題が既に話されていて、どのような話題がまだ話されていないを知ることにより、投稿者は話し方を変えることができる。全く新しい話題として切り出すか、既出の話題に関連づけて話を切り出すかといった選択は話を円滑に進める上で重要である。

本システムは使用者に様々な形で話し合い状況の理解に役立つ情報や話し合いに参加するかどうかの判断材料を提供する。これらの情報は、既存のメールリーダなどでも得られるものである。ただし、そこでは使用者によるコマンド入力などの意図的な操作が必要となる。本システムでの統合表示では、使用者は注視点を変えるのみで必要な情報を得ることが可能である。必要な情報が既にすべて画面上に埋め込まれていて、必要なときにすぐ取り出せるということが、議論支援において重要であると考えられる。

6.4.2 議論への参加支援

CommunityBoard は議論の状況を視覚化することで、その理解を支援するものであるが、議論の効用は、一方向の情報獲得だけではない。発言して、議論に参加することにより、自己の考えを整理したり、他者から有益な情報を引き出したりすることが可能となる。しかし、ネットワークを介した議論では、発言を躊躇する場合も多い。そこで、議論への参加を支援する機能を追加した **CommunityBoard2** を開発した。具体的には、発言以外の意思表示手段として、他者への発言への評価投入手段を提供し、その結果を集約して表示することで議論を活性化することを試みた。

(1)既存ツールの問題点

ネットワークを介してのメッセージ交換による議論では、対面環境での議論と比べて、つぎの 2 点が積極的な参加を躊躇させる原因となる。一つは、コミュニケーション手段の貧困さ、一つは、調整の困難さである。前者については、ネットワーク環境でのメッセージ交換では、例えば、表情による意思の伝達などができない。意思を伝えるには、メッセージを書くしかない。しかし、他者からの評価を予測できない場合、メッセージを出すことは大きな負担となる。また、メッセージが後々まで保存される点も、心理的な負担となる。後者の調整の困難さについては、ネットワークを介した議論では、聞き手がどの程度理解しているかを把握しづらい。よって、話し手からの一方的な発言になって、聞き手の期待から外れてしまうといったことが生じる。

議論への参加を容易にする条件を以下に挙げる。

- 参加者が話の進め方を理解すること
- コミュニケーション手段の強化: 多様な参加手段を取れること
- 調整機能の付与: システムが能動的に話の進め方を調整すること

1 点目に関しては、前節で述べた、議論状況の再生表示などが役立つ。2 点目に関しては、発言への評価を、「拍手」といったボタンを用意し、それを押させることで参加を促すシステムがある。しかし、評価という行為がシステムや他者にどのような影響を与えるか明確でない。自己の行為の影響が自覚されなければ、議論への参加意識は生まれにくい。よって、評価ボタンを用意するだけでは、十分ではない。3 点目に関しては、議事の進行状況を表示するツールは存在する。これは結論の早期の導出が目的の議論には適すが、議論を楽しむことが目的の場合、逆に、発言を阻害する要因となる。

(2)評価手段の提供と議論の調整

CommunityBoard2は、発言以外の意思表示手段として、他者の発言への評価投入手段を提供する。閲覧ウィンドウの下部に、+、|、-、というラベルのついたボタンがある。各々、正、中立、負評価を意味する。例えば、+ボタンを押すことで、メッセージを読んで良かったといった意思を表明できる。

CommunityBoard2は読者の評価を集約し、アイコンの見え方を修正する。例えば、多くの読者から正評価を集めたメッセージは画面上でより長い期間濃く大きく表示される。

アイコンの濃さ大きさは、詳しくは、(a)時間経過、(b)評価、(c)閲覧者の興味、により決定される。アイコンの見え方の決定に当たり、どの項を重視すべきかはコミュニティによって異なる。システム管理者は、各項の重みづけを様々に設定できる。ここで、問題となるのは、自己のメッセージの評価を上げるために、当人が不正に何度も評価を投入するといったことである。これを防ぐため、過去の評価情報を蓄積しておき、現在までに多くの正評価を得ている者による評価を重視するようにしている。

自己のメッセージが受けた評価の数は、評価ウィンドウによって確認できる。評価の明示が参加を促すかどうかはコミュニティの性質によるため、このウィンドウをユーザに見せるかどうか、システム管理者が設定できる。

また、議論状況表示に評価を反映させることは、話の進め方の調整にも結びつく。例えば、ある参加者 A が恋愛映画に関するメッセージと、恐怖映画に関するメッセージを投稿したいと考えている場合を想定する。また、他の参加者の大半は A の恋愛映画の話に興味があるが、A の恐怖映画の話には興味がないとする。この場合、A は恋愛映画に関する話を先にするのが望ましい。ここで、A には、CommunityBoard2上で、恋愛映画に関するアイコンが目立って見える。これは、過去に恋愛映画に関する話が高い評価を得ているためである。よって、A の注意は最初恋愛映画に向くと期待できる。このように、評価として得られた聞き手の要望を画面に反映させることで、話者と聞き手の要望が折り合う形で話が進むと期待できる。

(3)表示結果の解析

ニュースグループ fj.net.isdn の記事を CommunityBoard2上に表示し、議論状況の見え方を調べる。メッセージ総数 128、参加者総数 67、話題の数 28 であった。これらの中から、ある 3 人の参加者について、3 つの話題に関するメッセージ投稿数を表 6.3 (a) に示す。表中各マスの括弧内の数字は他者からの追従メッセージ数を表す。

追従メッセージは評価の一種と見なせる。しかし、各メッセージには参照関係が示されるだけで、正/中立/負の別は示されない。そこで、今回は、筆者が評価の種別を与えた。「この記事はこのニュースグループへの投稿にふさわしくない」といったメッセージには負評価を割り当て、それ以外には正評価を割り当てた。各投稿者から見てどのようにメッセージが表示されたかを表 6.3(b)に示す。表中の各マスの 3 つの数字は、それぞれ、濃く/中程度に/薄く表示されたアイコンの数を示す。この結果より以下のことがわかる。

- 濃いアイコンが出現したのは、投稿者 A と話題 1、投稿者 C と話題 2 の組み合わせである。A の話題 1 に関するメッセージには多くの追従メッセージがついており、A の投稿が話題 1 の話の進展に貢献したと想定できる。そのため、A には話題 1 の部分が目立って見えることになる。C と話題 2 の組み合わせについても同様である。

表 6.3 視覚化の統計

(a) メッセージ投稿数

	話題 1	話題 2	話題 3
投稿者 A	5 (8)	0 (0)	0 (0)
投稿者 B	2 (0)	0 (0)	2 (1)
投稿者 C	0 (0)	4 (3)	0 (0)

()内は受けた追従メッセージの数

(b) 表示されたアイコン数

	話題 1	話題 2	話題 3
投稿者 A	4,7,0	0,2,6	0,0,11
投稿者 B	0,5,6	0,2,6	0,11,0
投稿者 C	0,0,11	7,1,0	0,0,11

各セルの数字は、濃, 中, 薄表示の順

話題1: 64kbps-V.90 (メッセージ総数: 14)
 話題2: ISDNのしくみ (メッセージ総数:8)
 話題3: LAN接続 (メッセージ総数: 11)

投稿者 B と話題 1 の組み合わせには濃いアイコンが出現していない。B は話題 1 に関する 2 つのメッセージを投稿しており、話題 1 に興味を持っていると推測される。しかし、それらには追従メッセージがついていない。つまり、他者から正評価を受けていないため、B が話題 1 を見ても、目立つようには表示されない。アイコンの表示のされ方は、パラメ

ータ設定により変化するが、上の結果は、話者と聞き手双方が関心を持つメッセージが目立つように表示されるという本システムの特徴の一端を示しているといえる。

6.5 まとめ

ネットワークコミュニティの活動に関して、ネットワークであるがゆえの問題点を分析し、それらの解決を支援するためのシステムとして **Community Organizer** と、**CommunityBoard** の2つのプロトタイプシステムを構築した。**Community Organizer** は、人々の興味の近さを視覚化することによって、ユーザの周りの潜在的なコミュニティを明確にし、コミュニティの形成を支援する。また、**CommunityBoard** は、コミュニティ内の議論の状況を統合的に視覚化することで、その理解に必要な情報をユーザに与え、議論の活性化を支援する。

Community Organizerの実現においては、ユーザの個人的な情報からキーワードを抽出して各ユーザの特徴ベクトルを作り、それらを比較することによって関連度を計算する。そしてユーザ間の距離がそのユーザ間の距離を反映するように、各ユーザを平面上に配置することで、人々の間の興味の近さの把握を可能にし、潜在的なコミュニティの発見とコミュニティ形成を支援する。さらに、ユーザからのフィードバックを用いて、各ユーザのプロファイルを表すキーワードの適切な重み付けを学習する手法を開発した。また、評価実験によって、**Community Organizer** がユーザ間のコミュニケーションの支援に効果的であったことが示された。

CommunityBoard の実現においては、議論の話者、話題、時間を、それぞれメッセージを表すアイコンの形状、位置、濃淡で表示することで、議論の状況の一覧的な把握を可能とした。ユーザは**CommunityBoard**を用いることで、議論の理解に必要な様々な情報を容易に獲得することができ、議論への参加や、切り出し方などの指針を得ることができる。さらに、聴衆の反応を集約して表示することで、話者の活動を含めた支援を行う。

実現した2つのシステムを実際に適用してその効果を測定することは、社会的な実験が必要となるので容易ではなく、今後の課題である。またこれらのシステムは、ネットワークコミュニティのライフサイクルの一部を支援するに留まっており、他のフェーズを含めた総合的な支援が望まれる。支援のレベルについても、視覚化を中心としたどちらかというと

受動的な支援にとどまっており、エージェントの機能を活用とした、能動的な支援の実現が望まれる。しかし、今後ますます広がってくるネットワークコミュニティの活動を、より活性化し、スムーズなものとしていくための第一歩として、意義深いものであると考える。

第7章 実証実験

一 国際会議におけるコミュニケーション支援

7.1 はじめに

本章では、エージェント通信システムを用いたサービスが社会的に受け入れられるか否かを検証するための社会的実験について述べる。第4章から第6章まで述べた情報伝達支援、情報統合支援、協調活動支援という3つの形態のコミュニケーション支援を行う場として国際会議を取り上げた。国際会議は一時的なものではあるが、メンバが共通の関心を持ち、相互に情報交換をしようという意思を持っているということから、一つのクロウズドな社会を形成していると考えてもよいであろう。実験では、モバイル通信による国際会議支援実験 **ICMAS'96 Mobile Assistant Project** において得られたユーザのコミュニケーション行動に関する知見をもとに、エージェント技術のコミュニケーション支援における役割について考察する。

7.2 ICMAS'96 Mobile Assistant Project

ICMAS'96 Mobile Assistant Project とは、1996 年 12 月 9 日から 13 日まで京都のけいはんなプラザで開催された国際会議 **ICMAS'96** において、NTT, 京都大学, 奈良先端科学技術大学院大学, 神戸大学が共同で行ったモバイル環境下でのコミュニケーション支援実験プロジェクトである。実験では参加者約 100 名に携帯端末 (**PDA: Personal Digital Assistant**) と携帯電話を貸し出してサービスを提供した。本プロジェ

クトはモバイルコンピューティングを国際会議支援に応用した初めての試みである。この実験では電子メールや電子掲示板といった一般的なサービスの他に、コミュニティにおける行動や意思決定に必要な情報を提供するアプリケーション、ミーティングのアレンジを目的とするアプリケーションなどを提供することによってコミュニティを支援した。これによって、ユーザのサービスの使用法に関するデータ収集、解析によってモバイル通信サービス、エージェント通信サービスに対する必要機能の導出を図った。

7.2.1 提供サービス

本実験では表 7.1に示すような、(1)コミュニケーションサービス、(2)情報サービス、(3)コミュニティ支援サービスの3種類のサービスを提供した。特徴的なサービスとして Action Navigator, InfoCommon, Community Viewer の3サービスがある。

表 7.1 ICMAS'96 Mobile Assistant Project における提供サービス一覧

コミュニケーションサービス	メール送信 (Send Message) 携帯端末から他の参加者あるいはインターネットユーザにメールを送受信(電話回線を使用)。
	メール受信 (Receive Message) 他の参加者あるいはインターネットユーザからのメールを携帯端末で受信(電話回線を使用)。
情報サービス	会議案内 (Conference Information) セッション予定表、会議場案内(以上、携帯端末内の蓄積情報による)、採録論文約50件の内容梗概(電話回線を使用)などを提供。
	個人情報 (Personal Information) Community Viewer : 個人情報の提供(携帯端末内の蓄積情報による)と参加者間交流状況の可視化(電話回線を使用)を行う。
	観光情報 (Tourist Information) Action Navigator : 各種店舗、観光案内の提供(携帯端末内の蓄積情報による)。奈良市については42件のスポットを詳細に紹介するとともに、利用者の参照状況を表示(電話回線を使用)。
コミュニティ支援サービス	フォーラムとミーティング (Forum and Meeting) InfoCommon : 共有カード情報による知識と意見の交換を支援(電話回線を使用)。 Social Matchmaker : 興味を同じくする他者の発見を支援(蓄積情報/電話回線ともに使用)
	利用状況 (Statistics Feedback) 各種サービスの利用現況を表示 (電話回線を使用)。

(1) Action Navigator [Ohtsubo98]

ショッピングやレストラン情報の提供を通じてユーザの意思決定を支援する。ユーザは、このシステムを用いてショッピングやレストランの情報を得ることができる。端末画面の地図上に表示された情報スポットは、ユーザからの参照回数に応じて大きく表示される。これによって、どのスポットが多くユーザに魅力的(ホットスポット)であるかが分かる。図 7.1 に Action Navigator の画面例を示す。いくつかのホットスポットが奈良市の地図上に表示されている。

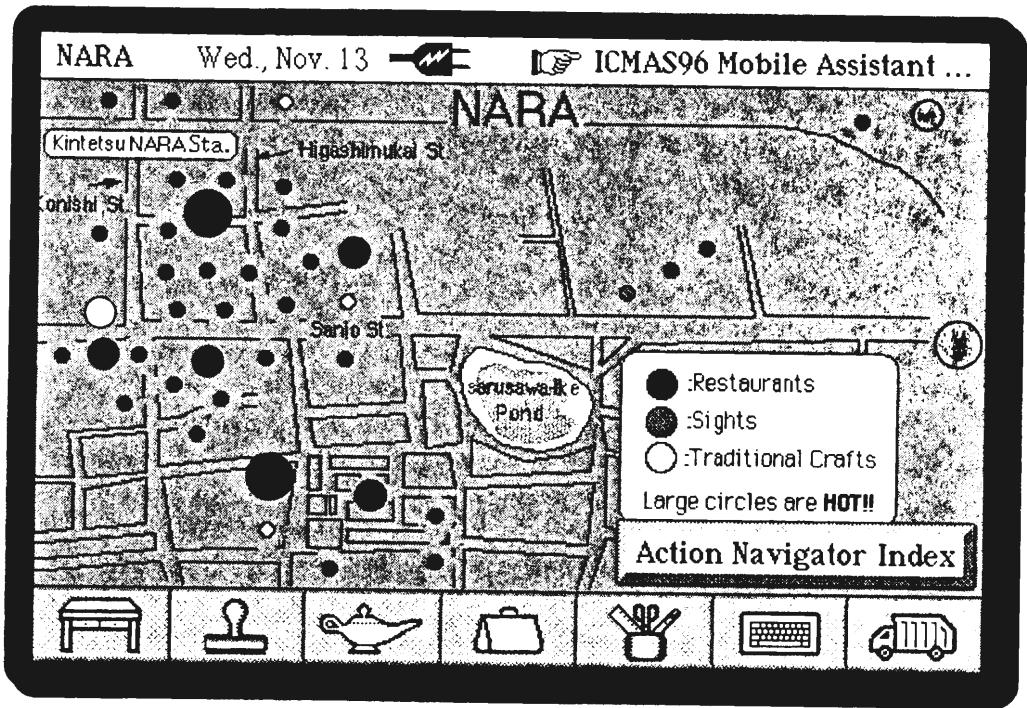


図 7.1 Action Navigator の画面例

(2) InfoCommon [Maeda97]

ユーザ間で情報の共有が容易な弱構造情報(weak information structure)を提供する。InfoCommon は特定の概念化をユーザに強要しない。その代わりに、有用な情報を様々な観点から取り込めるよう、用語や構造の多様性を認めている。InfoCommon は表現に曖昧さと漠然さとを残すことにより、「会議スケジュール」のような形式的な情報から、「レストラン口コミ情報」のように非形式的なものまで、様々なものを

取り込むことができる。InfoCommon の情報ベースは、弱構造化された情報カード (information card) の集まりである。キーワードは情報カードから自動的に抽出される。複数の情報カードは、共通に含むキーワードを基に関連付けられる。ユーザからキーワードの集合が与えられると、InfoCommon はキーワードに関連する一連の情報カードを提示する。図 7.2 に InfoCommon の画面例を示す。情報カード間の関係がリンクによって表示されている。

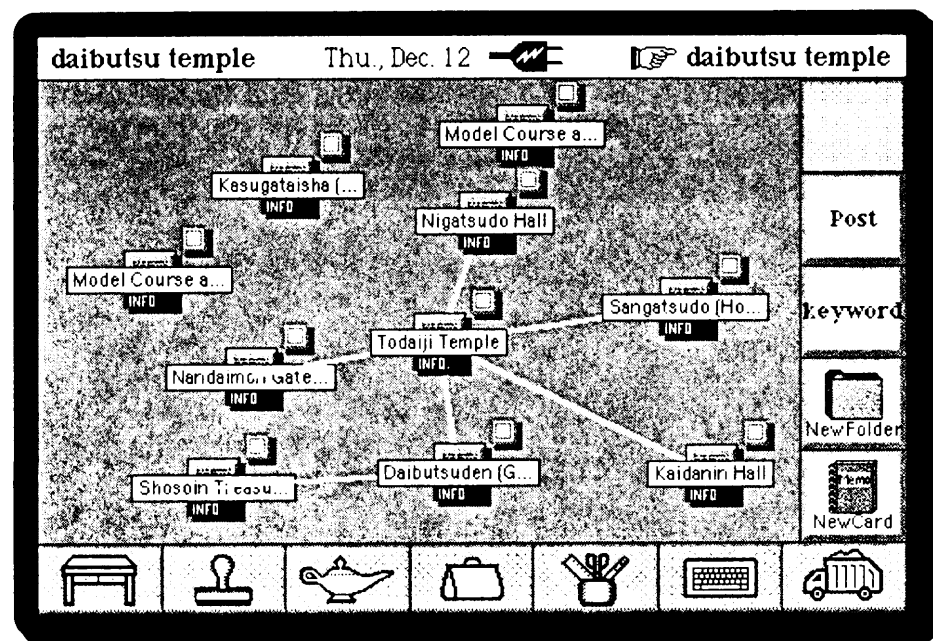


図 7.2 InfoCommon の画面例

加者のプロフィールなどの個人情報を読むことができる。このパーティールームは現実の空間での参加者の位置を反映したものではない。しかし、コミュニティ内で進行中のネットワークを介したインタラクション (メッセージの送受信、個人情報へのアクセス) が、パーティールーム内のフェースマークの挙動に反映される。まず各々のフェースマークは、パーティールーム内のランダムに選択されたテーブルに向かっていく。そのテーブルである程度の時間を過ごしたあと、現実世界でインタラクションの多い相手の参加者が位置するテーブルに向かって移動する。参加者間のインタラクションは仮想的なパーティールームの中で他のマークに近づき話しかけるという動作にも反映される。

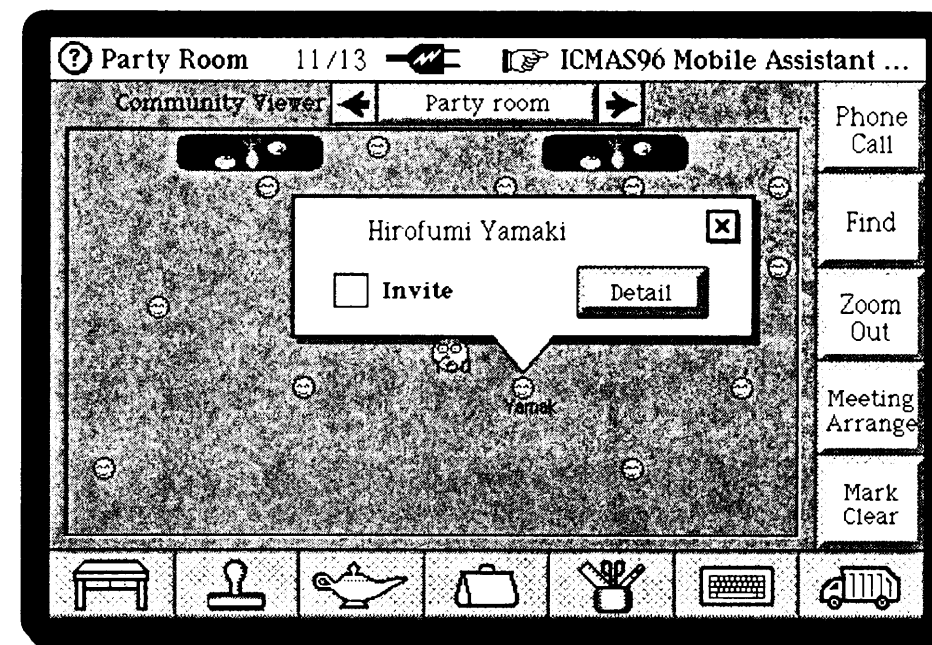


図 7.3 Community Viewer の画面例

(3) Community Viewer [Nishimura98]

コミュニティ内のインタラクションを可視化する。この目的のために、パーティールームと呼ばれる統一的なインタフェースが提供されている。図 7.3 に Community Viewer の典型的な画面を示す。パーティールームでは、各々の参加者はフェースマークで表現される。すなわち、100 個のマークが 100 名の参加者をあらわしている (画面上にはパーティールームの一部しか表示されていない)。このマークを選択することによって、対応する参

提供されたサービスは、電子メールのように既に商用化されているサービスと、NTT, 京都大学, 奈良先端科学技術大学院大学の研究者, 学生ら, 総勢約 20 名によって開発されたものからなる。多くのサービスが本実験のために開発されたものであるため、設計時にログデータを採取する機能を盛り込むことができた。

7.2.2 システム構成

図 7.4に本プロジェクトで用いたサービスシステムの構成概要を示す。会議場にサーバマシン(HP9000 model I800/I60)を設置し、インターネットと接続した。また、100 台の携帯端末との接続用に30 回線の電話回線を引き込み、回線集約装置にてLAN 接続した。さらに、この実験では携帯電話の回線接続によるデータ通信であるため、通常の音声通信に比べてより頻繁かつ長時間に回線を占有する可能性があった。そのため、携帯電話事業者に依頼して、携帯電話基地局の増設を行った。

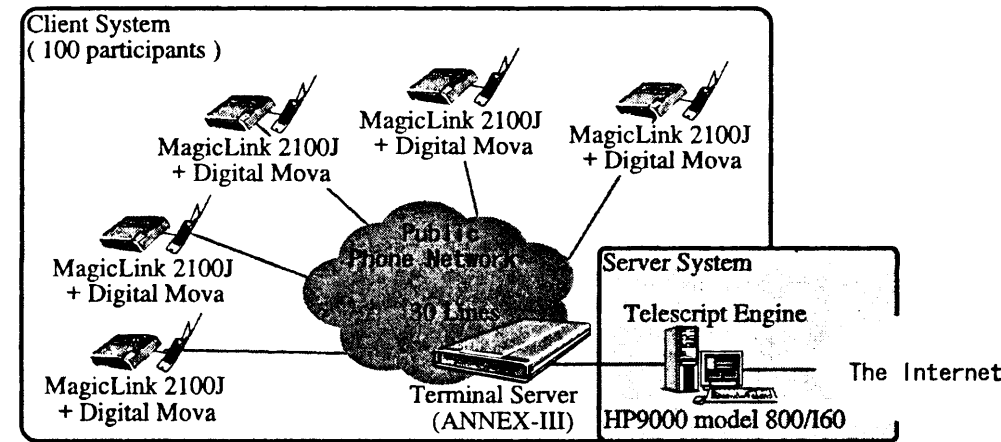


図 7.4 ICMAS'96 Mobile Assistant Project のサービスシステムの構成

一方、ユーザは MagicCapTM OS の動作する携帯端末 MagicLinkTM2100J²上に作られたサービスインタフェースを通してサービスを受ける(図 7.5参照)。モバイル環境においては9,600bpsの携帯電話用モデムカードを用いてサーバとIP 接続された。

携帯端末上に作成されたクライアントシステムには、通信量の削減およびユーザに対するレスポンスの向上を狙いとして、以下の2つの機能をエージェントとして実装した。

² MagicCap は General Magic 社、MagicLink は 株式会社ソニーの登録商標である。

- ・ 情報案内サービスにおいて、端末上に配置されたデータと、サーバ上に存在するデータとの間の差異を監視し、差異が生じた際にユーザにデータのアップロードを促す機能。
- ・ ユーザの挙動解析のために、端末上でのユーザのサービスの使用状況を監視、記録し、ユーザがサーバに接続した際に記録をサーバに送信する機能。

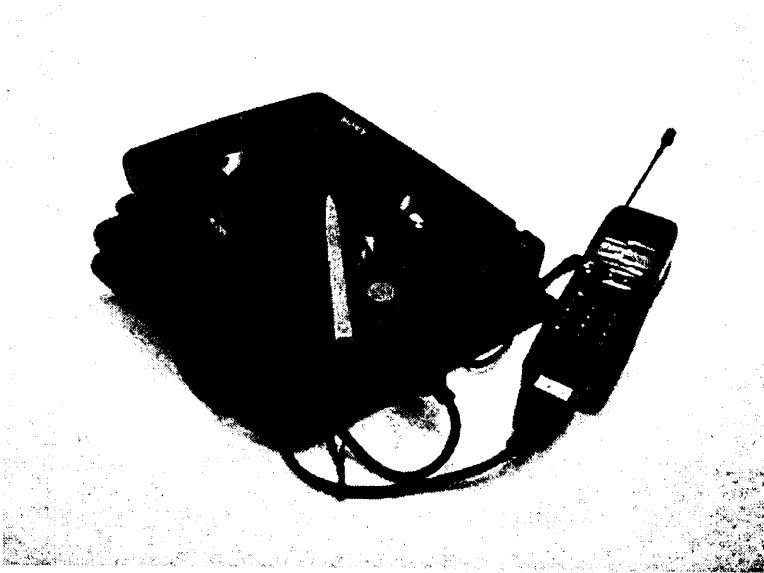


図 7.5 クライアントシステムの構成

7.2.3 ログデータの解析

会議の開催中、携帯端末とサーバの双方でログデータが継続的に収集された。携帯端末で収集されたログデータは、サーバに接続されるたびにサーバに送信され、蓄積された。収集されたログデータは総計4M バイトにおよぶ。収集されたログデータは以下のとおりである。

[サーバ上での収集ログ]

- ・ 各サービスに対するアクセスの時刻
- ・ 各アクセス時のサーバの入出力

[携帯端末上での収集ログ]

- ・ 端末の使用時間
- ・ 端末上でのシーンの移り変わり

収集されたこれらのログを解析することによって、国際会議支援におけるコミュニケーションサービスの役割について考察する。なお、ログデータの解析にあたっては、本プロジェクトの開発メンバおよび運用メンバは除外した。また、携帯端末内の時計の時刻を変更したユーザも除外した。最終的に対象となったユーザは 76 名である。その内訳は、アジア太平洋地域から 48 名(うち日本から 41 名)、アメリカ地域が 14 名、ヨーロッパ地域が 14 名であった。学生 18 名、会議発表者 26 名が含まれている。これらユーザはおおむね計算機科学の専門家と考えてよい。

7.3 サービスの利用に関する解析と考察

7.3.1 携帯端末の利用状況

図 7.6に会期中のサービスの利用状況を示す。横軸は時間であり、縦軸はサービスのアクセス回数を示す。最初の2日間はチュートリアルとワークショップが開催され、続く3日間はテクニカルセッションが開催されている。11日の夕方にはレセプションが、12日の午後には奈良公園へのエクスカーションが実施されている。図 7.6より以下のような特徴が読み取れる。

- (1) レセプションとエクスカーションの間を除いて、テクニカルセッション中でも切れ目なくサービスが利用されている。発表を聞きながら、論文アブストラクトや著者の個人情報など、関連する情報取得を行っているユーザが多く見受けられた。

- (2) 1日の会議プログラム終了後、特に夕食後のホテルにおいても携帯端末は利用されつづけた。10 日夜半前に利用がピークに達しており、テクニカルセッションの開始を控えて、携帯端末が活発に利用されたことがうかがえる。

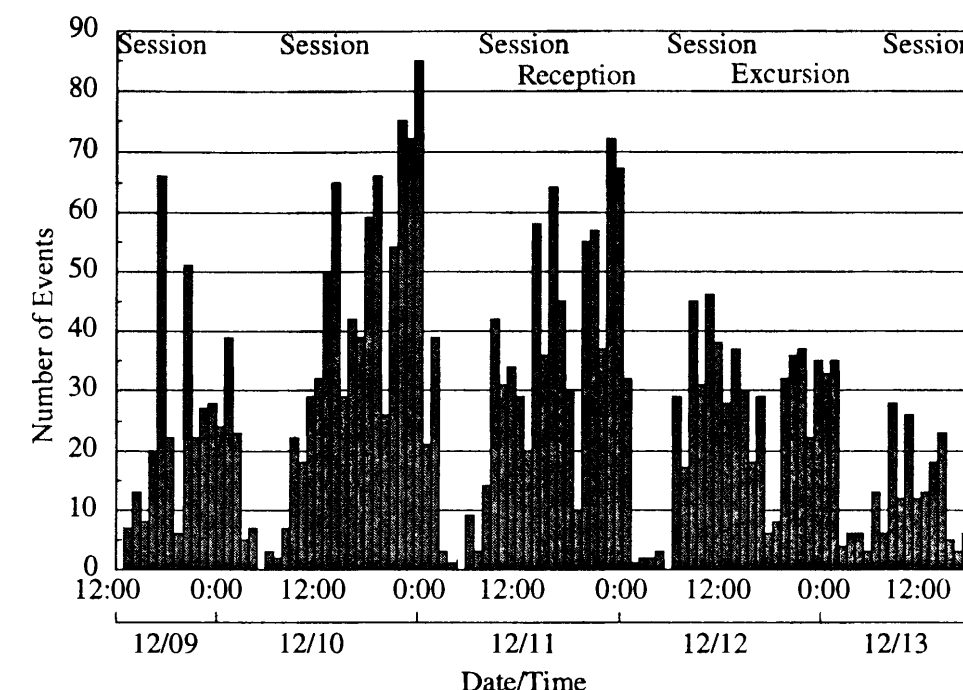


図 7.6 携帯端末の利用状況

1日の時間帯における携帯端末の利用特性(典型的なトラフィック特性を見せた会議3日目)を図 7.7に示す。比較のために同じ携帯端末を用いた NTT FAN 企画の商用試行サービス Paseo [Niwano97]³の特性を併せて示す。Paseo サービスでは、トラフィックは 9 時、正午および夜中にピークを迎える。これは Paseo サービスのユーザの多くがビジネスマンであるために業務時間内のサーバ接続が困難であることに起因すると考えられる。

³ Paseo サービスは、NTT FAN 企画(株)が、1996 年 3 月から 1997 年 1 月まで行なったマルチメディア通信商用試行サービスである。Paseo サービスでは通信回線として、一般公衆回線が使用されている。また、ユーザ数も 2500 人以上であり、本実験と比較して多い。

一方、本実験におけるトラフィックは、3 日目の午後に落ち込んでいる。この時間帯は国際会議のレセプションが企画された時間であり、ほとんどのユーザがそれに参加しており、携帯端末を使用しなかった。また、本実験では夜中にピークを持っており、レセプションや野外イベントなどの会議イベント、早朝以外の時間帯は連続的にサーバアクセスが確認された。

一般を対象としたサービスのトラフィックは会社の業務時間、我々の実験でのトラフィックは、国際会議のスケジュールに強く依存している。このことからモバイルコンピューティングの利用が、ユーザの日常的な活動パターンを極めて良く反映することが理解できる。

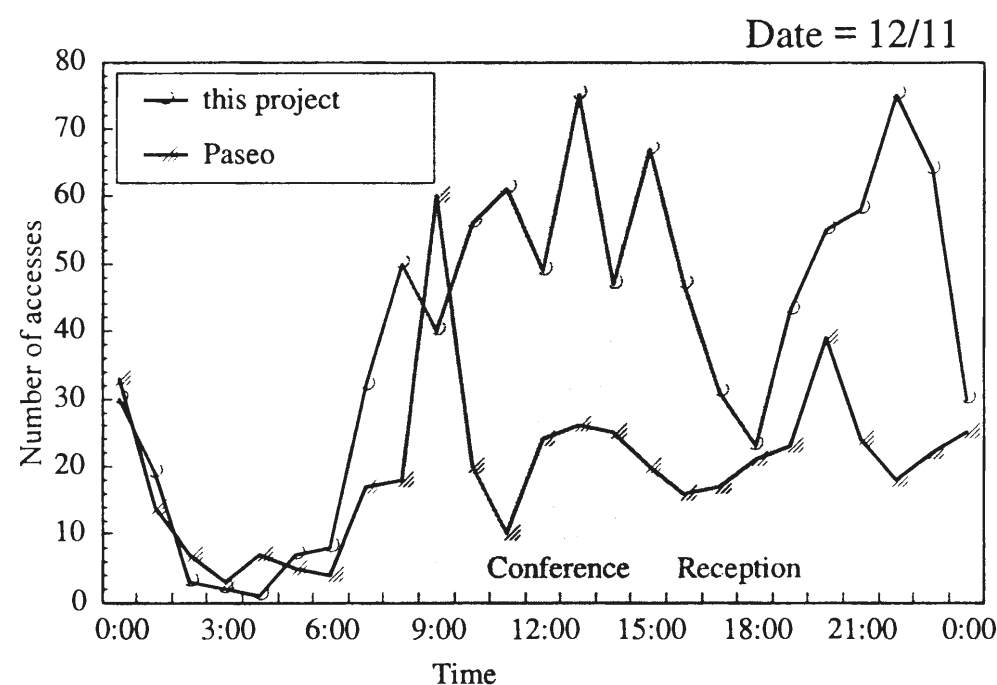


図 7.7 Paseo サービスとの1日の利用特性の比較

7.3.2 各サービスの利用状況

次に、会期中の各種サービスの利用状況を調べる。図 7.8は表 7.1の7種類のサービスによるユーザの活動状況を1日単位で表したものである。また図 7.9は会議期間中における携帯端末の配布状況の推移を示す。ユーザの活動状況は、携帯端末の貸し出し

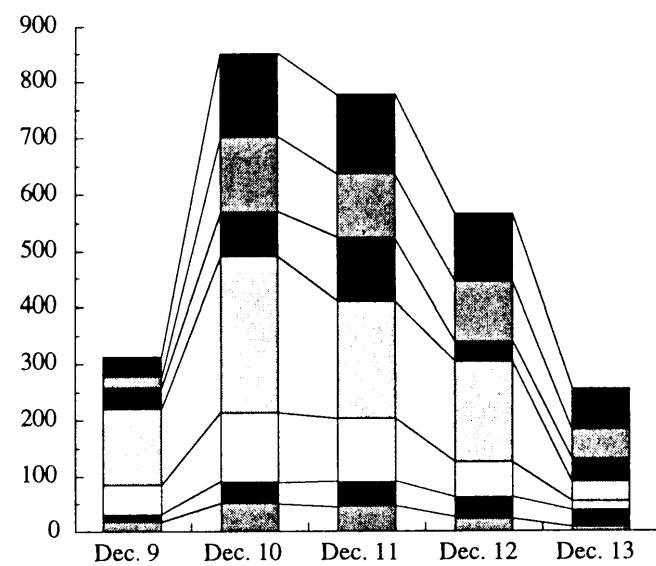
の行われた9日と返却が行われた 13 日に低くなっている。それ以外の傾向として、会期の初めは活動が活発で、日程が進むにつれて徐々に低下していることがわかる。提供したサービスの中では、電子メールと情報サービスがよく利用された。フォーラムやミーティングを設定する会合支援機能などは、利用頻度が少なかった。期間が数日間という国際会議では、複雑な機能は利用しにくいとの声もあった。各種サービスの利用頻度をさらに詳細に調べると以下のことがわかった。

- ・電子メールの送受信は、会期中の端末貸し出し台数で割ると、ほぼ一定の需要があることが分かる。端末あたりのイベント数は会議日程の進行に依存せず、ほぼ一定である。
- ・一方、情報サービスに対する需要は会議の進行にしたがって変化する。会議情報は第3日目にもっとも多く参照された。会議情報は、会議場案内とプログラム、アブストラクトの情報提供がその中心である。特にアブストラクトの参照は第3日が多いという結果が得られているが、これはテクニカルセッションの初日であったためと考えられる。また個人情報の参照は会議当初が多く、その後は徐々に減少している。

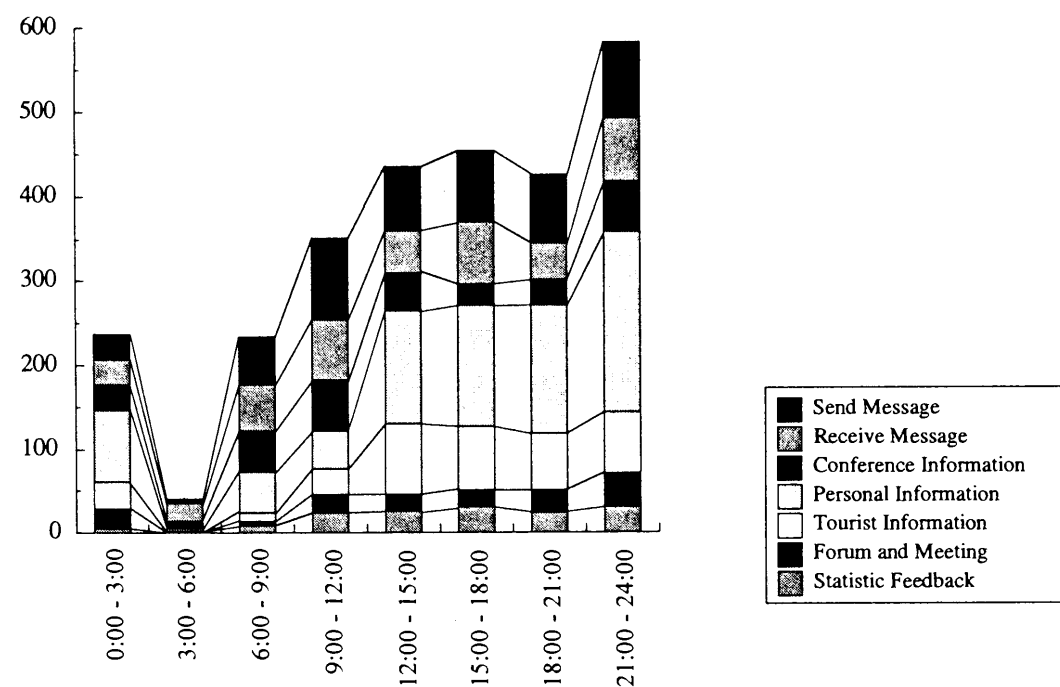
図 7.8(b)は、各サービスの利用状況を時間帯別に表したものである。この図と図 7.7 とから、以下のことが分かる。

- ・ユーザの活動は朝から夜に向けて活発になる。昼食はユーザの活動に影響するほどのものではないが、夕食時の利用はレセプションなどのため減少している。利用のピークは午後9時以降、深夜にかけて現れている。
- ・電子メールの送信サービスは午前0時から午前9時を除くと、1日中平均して利用されている。メールの受信は夜間にも行われている。
- ・会議情報は午前中と夕食後の参照が多い。一方、個人情報は午後、特に午後9時以降によく参照されている。

以上をまとめると、電子メールの需要は会議の進行に依存せずほぼ一定であるが、情報サービスの需要は会議の進行に依存して変化することが分かる。従来の国際会議支援では、会議が行われる時間帯に限って、デスクトップ型端末で、主として電子メールサービスを行っていた。しかしながらモバイルコンピューティングでは、よりユーザの要求に合わせた支援を行うことができる。



(a) 会議日程別利用状況



(b) 時間帯別利用状況

図 7.8 サービス利用状況

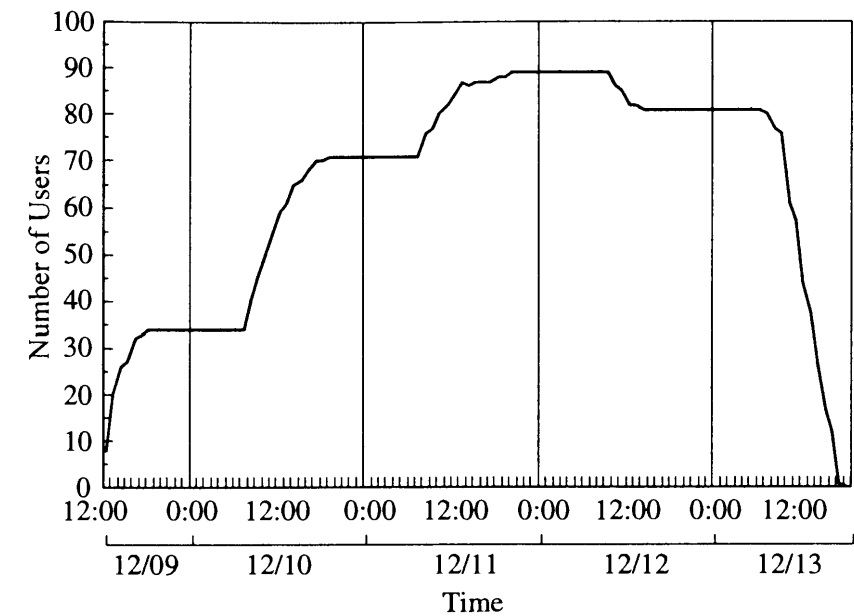


図 7.9 端末配布の経過

7.3.3 サービス利用の相関関係

最後に、各種のサービス利用の相関を調べて、ユーザの利用動向を検討する。表 7.2にサービス間の相関を示す。

- ・ 電子メールの送信と受信の間には強い相関が見られる。これは直感的に明らかな結果であるが、この場合の相関係数が 0.63 であることが、他の相関係数を解釈する基準を与える。
- ・ 利用統計の取得と個人情報との間、および利用統計の取得とフォーラム・ミーティングサービスとの間に強い相関が見られる。これらはいずれも他の参加者に対する興味をあらわすものである。相関の度合いは電子メールの送信と受信の相関と同程度である。
- ・ 情報サービスの利用相互には中程度の相関が見られる。一方、電子メールと情報サービスの間にはほとんど相関が見られない。電子メールを中心に用いるユーザ、

情報サービスを中心に用いるユーザ、双方を用いるユーザなど様々であったことがわかる。

この結果は、電子メールをよく使うユーザは情報サービスの利用も活発だとする HomeNet プロジェクトの報告[Kraut96]とは異なっている。HomeNet プロジェクトではユーザが初心者でその観察期間が50週以上と長期にわたっているのに対して、本プロジェクトではユーザのすべてがコンピュータの専門家で、5日という短期間であったという相違がある。一つの解釈として、情報サービスが国際会議に密着した需要であるのに対して、電子メールは会議とは独立した需要に基づくものである、と考えることができる。

表 7.2 各種サービス間の相関関係

	SEND MESSAGE	RECEIVE MESSAGE	CONFERENCE INFORMATION	PERSONAL INFORMATION	TOURIST INFORMATION	FORUM AND MEETING	STATISTICS FEEDBACK
SEND MESSAGE		.630	-.090	-.044	.030	.068	-.097
RECEIVE MESSAGE	.630		-.013	-.024	.029	.006	-.130
CONFERENCE INFORMATION	-.090	-.013		.468	.414	.492	.324
PERSONAL INFORMATION	-.044	-.024	.468		.500	.585	.679
TOURIST INFORMATION	.030	.029	.414	.500		.415	.366
FORUM AND MEETING	.068	.006	.492	.585	.415		.624
STATISTICS FEEDBACK	-.097	-.130	.324	.679	.366	.624	

7.3.4 アンケート結果

表 7.3に会議終了後のアンケート結果の一部を示す。本プロジェクト実施の時点では最先端の機器であったにもかかわらず、ユーザは提供された端末に十分満足していないことがわかる(C1 参照)。通信速度も 9600bps とユーザを満足させるものではなかった(C2 参照)。

サービスそのものに対するコメントでは、何人かのユーザはコンテンツの重要性を指摘している(C3 参照)。コンテンツの不足が、この実験の魅力を減じたとの指摘である。InfoCommon を提供したグループは、会議期間中、システムマネージャがユーザからの問合せに答えつづけたが、インタラクションの雪だるま効果を引き起こすにはいたらなかった。初期のコンテンツの重要性を示すものと言えよう(C4 参照)。

また、ミーティングを設定する機能はほとんど利用されなかった。何人かのユーザは、この機能がより期間の長い大規模な会議に有効だろうと指摘している(C5 参照)。実際、会議場にあるメッセージボードにもほとんどメッセージが貼られていなかったことを考えると、今回の会議は小規模であったため、会議場で必要に応じて連絡がとれたと考えられる。

表 7.3 参加者のコメント

C1	The project was nicely arranged and I appreciated being a part of it. I was very disappointed with the PDA for several reasons. 1) I had to have a special address that people at home did not know about. 2) I really, really missed standard tools like telnet and ftp.
C2	Unfortunately the interaction speed/ease was far too slow for me to use. It was much easier just to meet people and I could never get E-mail to work. I did not have time to visit the help desk to see what was wrong. Good idea, but the speed wasn't useful for me.
C3	It'll be more interesting if the participants use it more often. Less information, less news, less posting is not interesting.
C4	In general, the project is interesting and seems to have many possibilities. Theer have to be people doing first steps, I.e. posting news, inviting other people to discussions, meeting, etc. Withoug proving this initial start by yourselves, I do not think that much action will happen.
C5	As time during such a conference is short, and personal contact with people that we talk with is important, the PDA gets to be more important to contact people outside the country.

7.4 データ通信に関する解析と考察

7.4.1 端末保有データ量とサーバアクセス回数間のトレードオフ

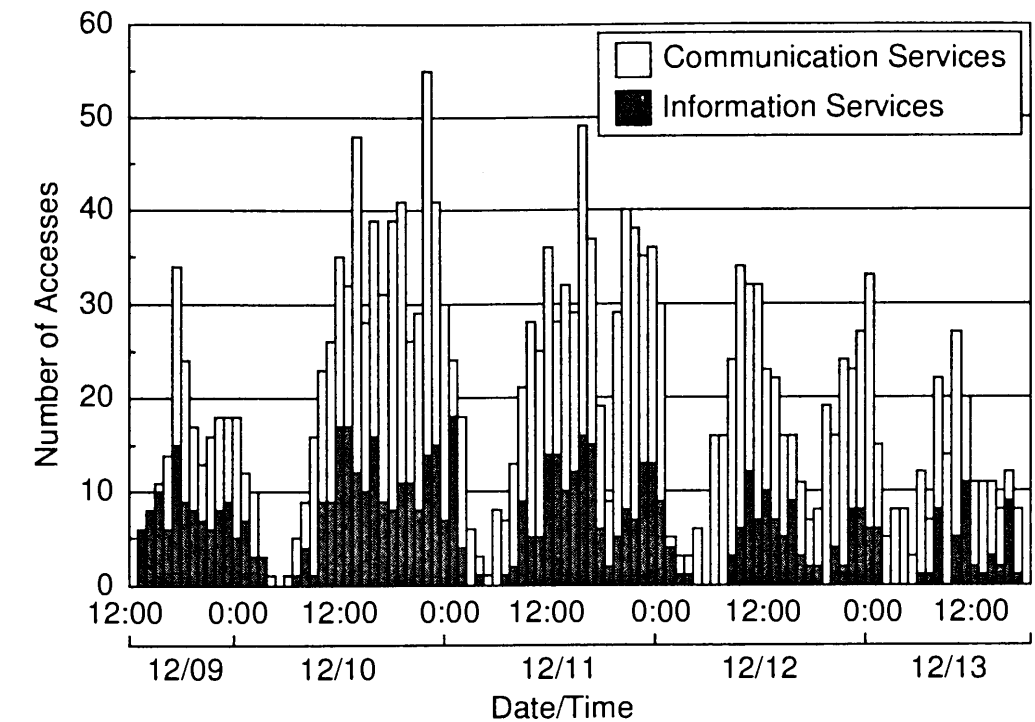
まずモバイル通信サービスがどのように用いられるかを調べるとともに、情報の配置がサービスの利用にどのように影響するかを明らかにする。

図 7.10 (a)に 12/9 から 12/13(会議期間中)にサーバ側で把握した各サービスのトラフィック特性を示す。また、比較のために端末上での利用状況を

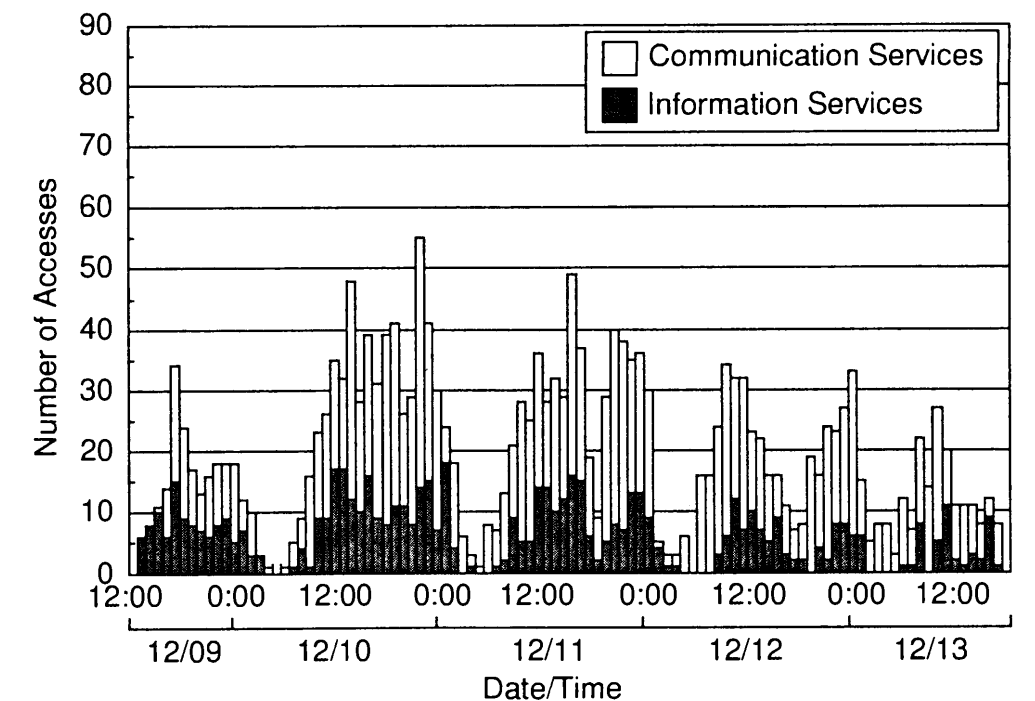
図 7.10(b)に示す。サーバ上へのアクセス(電話回数)を見ると、電子メールに代表されるコミュニケーションサービスの使用が支配的である。一方、端末上での利用状況を見てみると、コミュニケーションサービスの使用と情報案内サービスの使用とが、ほぼ同等な状況である。これは予め端末にデータの一部をダウンロードしたことによる。ユーザがサーバへのアクセスなしに情報案内サービスを利用していることがうかがえる。モバイル通信と LAN 接続との大きな違いは、常に通信路が確保できるとは限らない点である。サーバとの通信路の確保が出来なくてもサービスが可能なシステムの構築が重要になってくる。本実験では、データの一部を端末に配置することによって、通信路確保に依存しないサービスを実現したが、ユーザの挙動からこのアーキテクチャが有効であることが分かる。

この結果により、モバイル通信サービスのための理想的なシステムアーキテクチャについて議論する。今回の情報案内サービスのように端末上にデータの一部を配置し、頻繁に利用されないデータは通信によって転送する形態をとることが有効であると考えられる。では、どのようなデータを端末に配置し、どのようなデータをサーバから通信によって提供すればよいだろうか。

まず、表 7.4(a), (b)に、それぞれ会議情報案内および周辺情報案内で提供した情報の種別、その情報の配置場所、容量、その情報へのユーザのアクセス回数を示す。この結果より、各々の種別の情報をどのくらい端末上に配置すれば、サーバアクセスがどのように変化するかを予測し図 7.11に示す。横軸に端末上に配置するデータの量、縦軸にその時のサーバアクセス回数を取っている。図中に示した数字は、どの種別の情報を携帯端末に配置すると仮定するかを示している。実際のアクセス回数は、サービスで提供する情報の種類や量、サービスの期間、ユーザ数によって変化するが、ここでは今回の実験と同じ状況で、実験の際に端末上で行なわれたものと全く同一のアクセスが行なわれると仮定して計算した。



(a) On the server



(b) On PDAs

図 7.10 利用回数特性

図から、僅かなデータでも端末に配置することによって、サーバアクセス数を減少することが可能であることがわかる。単位容量のアクセス回数への寄与率(アクセス回数/データ容量)の大きいデータを端末に配置することにより、サーバアクセスの頻度を下げている。今回の実験では、会議のスケジュールや、観光情報のインデックスや地図といった情報選択のディレクトリとなりうるデータの効果が大きいことが分かる。

今回、提供した会議情報案内および周辺情報案内では、提供した情報量がそれほど多くなかったため、ほとんどのデータをあらかじめ端末上にダウンロードすることができた。しかしながら提供する情報が多い場合には、例えば旅行情報ではネットワーク中に存在する大規模なデータベースに接続して多くの情報をユーザに提供することになる。会議情報では、論文そのものをデータベース化することも考えられる。一般には、利用頻度の高いデータのみを端末上に配置することになる。

表 7.4 各種情報案内サービスにおけるデータ配置

(a) Conference information

	種別	位置	容量 [kbytes]	アクセス 回数	寄与 率
1	会場スケジュール	端末	30	316	10.5
2	会場全体地図	端末	26	52	2.0
3	各フロア地図	端末	72	98	1.4
4	論文要旨	サーバ	64	49	0.6

(b) Tourist information

	種別	位置	容量 [kbytes]	アクセス 回数	寄与 率
1	インデックス	端末	16	437	27.3
2	街地図 (統計情報あり)	端末	46	211	4.5
		サーバ	1		
3	街地図 (統計情報なし)	端末	46	36	0.8
4	略式情報	端末	32	36	1.12
5	詳細情報	端末	125	86	0.7

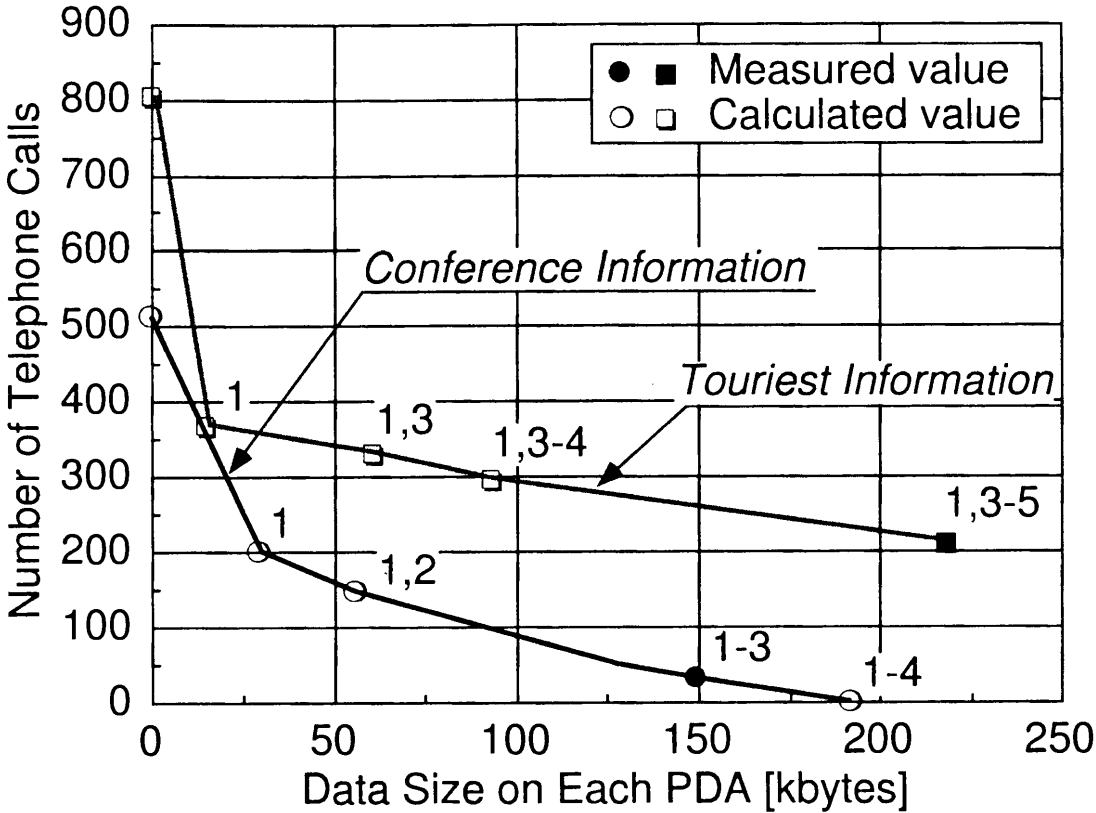


図 7.11 端末上に配置したデータ量とサーバアクセスの関係

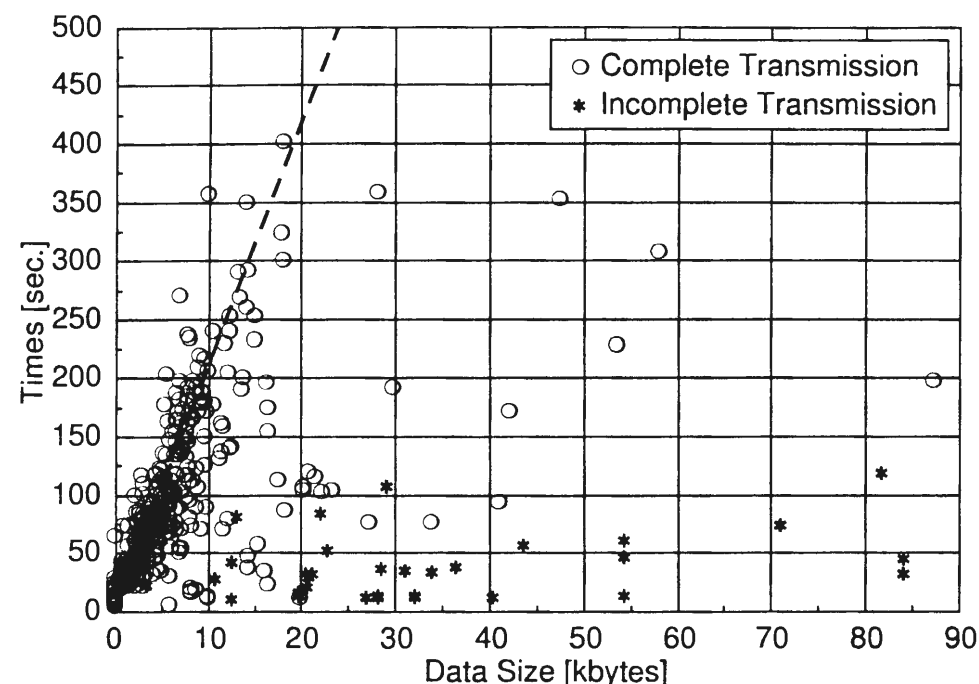
7.4.2 通信の中断

利用データ解析の次の目標は、通信速度や通信エラーが、モバイル通信サービスに対して及ぼす影響を知ることである。

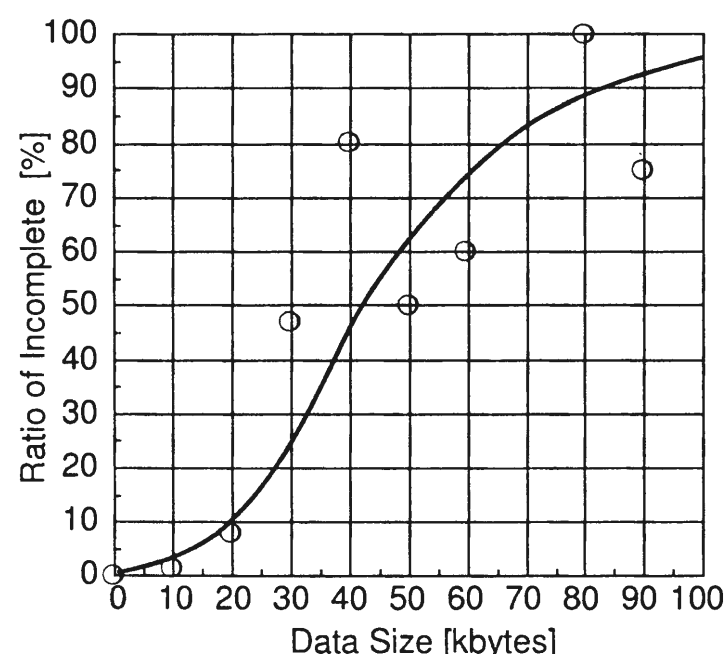
図 7.12(a)に電子メールの送受信における通信量と通信時間の関係を、

図 7.12(b)に通信量と通信の中断率を示す。ここでは、通信量、通信時間ともにアプリケーションレイヤでの測定を行っており、下位プロトコルによるオーバーヘッドなどを含む測定となっている。また、

図 7.12(a)中で“*”によって示したものは、通信エラーやユーザによる明示的な通



(a) Data transmission rate



(b) Ratio of incomplete transmission

図 7.12 データ転送特性

信の中断などにより、サーバシステムが完全にデータを送れなかった事例を表している。

ここで注目すべきは、通信速度の分布である。一般に有線 LAN での通信速度はその利用形態にもよるが正規分布する。

図 7.12(a)では、偏りのある分布を示している。平均から高速側へ分散されたデータは存在するが、低速側に分散されたデータは稀である。また、この速度の平均値は 400[bps]であり、物理レイヤでの速度である 9,600[bps]と比較してはるかに小さい値である。

今回我々の用意したシステム構成では、回線収容装置とサーバ間は 10[Mbps]であり、30 回線用意したクライアント収容回線と対比して十分大きく、回線収容装置以降の容量が制約になっているとは考えにくい。このことより、本実験での無線通信ラインにおける TCP/IP 通信レイヤでは、通信遅延やビット落ちなどによるパケットの再送などの速度低下を起こす現象が頻繁に起きていることが推測できる。この結果は、Alanko などの報告 [alanko94]による、「携帯電話回線と TCP/IP の組み合わせでは、相性が悪いため上位レイヤでの通信が低速かつ遅延変動が大きい」という報告結果と同様である。

一方、データ転送量が多い場合に、ユーザからのキャンセルで通信が中断される確率が高い。その理由は、携帯電話回線を使用した通信のため初期的に平均 29[sec.] (モデム間ネゴシエーション = 23 [sec.], PPP 確立 = 6[sec.])が必要であること、アプリケーションレイヤでの通信速度が遅いなどの理由が、事後アンケートから得られている。

図 7.12(a)から、通信の中断は、通信が始まって間もなく起きていることが分かる。今回提供したサービスでは、データ転送時に転送量をリアルタイムに表示している。このため、ユーザはデータ転送終了までに必要な時間を予測することが可能であり、大きな時間が必要と予測された場合に、早い段階で通信をキャンセルしているのではないかとと思われる。

前章では、アクセス頻度の大きい情報を端末に配置することが効果的であると述べた。この結論は、ユーザが端末に情報がなければ必ずサーバに接続し情報を入手するとの仮定に立っている。しかしながら、ここで述べたように、ユーザの接続拒否の姿勢は、課金が行なわれなかった本実験でさえ明確に現れており、端末にない情報は諦めるというユーザも少なくない。従って、実際的な方法としては、可能な限りのデータを有線接続で予めダウンロードする(pre-downloading)、データ取得の接続があれば近傍のデータも同時に転送する(block-downloading)などの手法により、サーバアクセス回数を減らすことが必要である。この処理においてエージェント機能の導入が有効であると考えられる。エ

エージェントは、ユーザがどのような情報を入手しようとしているのか、また端末のメモリ状態などを監視しサーバに伝えるとともに、情報転送戦略を定め、その戦略に従って端末に情報をダウンロードすることによりユーザの通信回数を低減する。また、電子メールのように必ず通信を必要とするコミュニケーションサービスでは、ユーザはサーバアクセスをせざるを得ない。ユーザがコミュニケーションサービスを使用して通信する契機を監視し、情報案内システムで提供する情報を同時に送信するエージェント機能などの導入によりユーザのサーバアクセスの負荷を軽減することも考えられるだろう。

次に、通信エラーや通信中断が起こった後のユーザの挙動について述べる。図 7.13 にユーザによる通信の明示的なキャンセルが原因で通信の中断が生じた時、そのユーザが次にサーバ接続を行うまでの間隔を示す。横軸は接続間隔時間、縦軸はその接続間隔で再接続が行なわれる率を示している。

有線のネットワーク環境下では、正常なデータ転送が行なわれなかった場合、一般的にユーザは直ちに再接続を試み、数回の再接続に関わらずデータ転送が行なわれなかった場合のみ、その作業をあきらめることが知られている。しかしながら、図 7.13 では、20 分後の再接続確率でも約 40%であり、有線のネットワークサービスと対比して多くのユーザが再接続までの時間を長くおていることが伺える。

これは通信が不安定な場合、通信が安定する状況（夜になって時間がある、回線の確立が安定する場所に移動する）になってから再接続を行うというユーザの行動を表していると考えられる。おそらく、このユーザの挙動は、これまでの無線電話の利用の経験から導き出されたものであろう。しかし、国際会議場のように多数の無線基地局に多数のユーザが接続する状況では、無線の状態はユーザが想像する以上に早期に改善されるものである。従って、無線の状態を監視し、通信状態が改善された場合にユーザに対し再接続を促すエージェント機能の導入が有効であると考えられる。

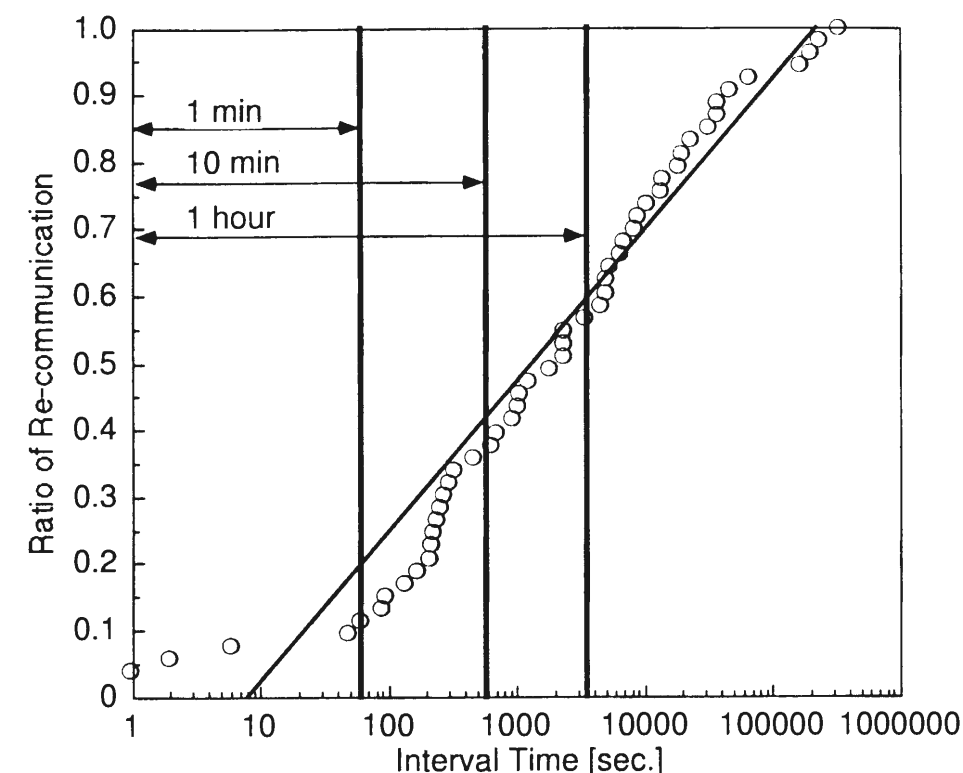


図 7.13 再接続確率の時間特性

7.5 まとめ

本章では、ICMAS'96 Mobile Assistant Project で構築した、国際会議支援のためのモバイル通信サービスの概要を示すとともに、通信ログの解析によってその役割を測定した。携帯端末は1日を通じて継続的に利用された。特に、会議中における情報交換のための利用が多かったことが特徴的である。また、サービスの利用状況に関しては、電子メールサービスはほぼ定常的に利用されているが、各種情報サービスの利用は会議の進行に強く依存しており、背景となるユーザの活動パターンをよく反映することがわかった。

また、モバイル通信において情報案内サービスを構築する場合、以下の対策が必要でありエージェント機能の導入対象となり得ることを見出した。

- 端末データ保有量とサーバアクセス回数のトレードオフ

サーバアクセス回数と、端末の保有データ量との間に顕著なトレードオフが見られ、端末に多くのデータを配置することによりサーバアクセス回数を減少することが可能であることが見出された。特に情報を選択するためのディレクトリを端末に格納することは、サーバへのアクセス回数(電話回数)の減少に貢献することが分かった。

- ユーザによる通信の中断

通信待ちを嫌うユーザが情報の取得を諦め、通信をキャンセルしたりする傾向があることを確かめた。また、通信キャンセル後の挙動として、比較的時間をおいた後に再接続が行なわれていることが明らかになった。この結果から、システムからユーザに接続を促す、技術的・心理的方策が必要であることが分かった。

本実験では、Action Navigator や Community Viewer などのエージェント通信サービスそのものよりも、これらのサービスが現実の社会でどのように受け入れられるか、という点に着目した。その意味では、会議の参加者の多くによって継続的に利用され、アンケート結果では大部分のユーザに関心をもたれていたという事実は、エージェント通信サービスの可能性を示すものと言えよう。短期間の1回だけの実験では、一般的な結論は導き出せないが、こうした社会的実験の経験を蓄積することで、国際会議のような場でのコミュニケーション支援におけるエージェント通信の役割が明確になっていくことが期待される。

第8章 結論

8.1 本研究のまとめ

本論文では、エージェント技術の適用によってネットワーク上のコミュニケーションを支援するシステムーエージェント通信システムーのコンセプトと基本的なアーキテクチャを提案した。また、具体的な応用として、情報伝達の支援、情報統合の支援、協調活動の支援の3つを取り上げ、エージェント技術の適用方法とその効果について考察した。さらに、これらの応用を統合した実証実験として国際会議の支援システムを構築し、エージェント通信システムが実際の社会において受け入れられる可能性を示した。以下、その成果を要約する。

第1章では研究の目的を明確にするとともに、エージェント技術の応用とコミュニケーション支援技術の2つの側面から、研究の位置付けをあきらかにした。第2章では、コミュニケーション支援へのエージェント技術の応用に関する研究状況を概観し、個別的な研究だけではなく、統一的なコンセプトとアーキテクチャに基づいたシステム開発が必要であることを指摘した。

第3章ではエージェント通信のコンセプトと基本的なアーキテクチャを提案した。ネットワーク上の社会活動が発展にともない、人間の情報処理能力とネットワーク上を流通する情報量とのギャップを埋めるために、何らかの知的なソフトウェアによる支援が必要であること、また、それらが社会的なインフラストラクチャとして構築されるべきであることを述べた。また、基本的なアーキテクチャとして、パーソナルエージェント、仲介エージェント、サーバエージェントからなる3層構成のマルチエージェントシステムとしての実現形態を提案した。

第4章から第6章では、エージェント通信システムの具体的な適用例として、情報伝達、情報探索、協調活動といったコミュニケーション形態に応じた幾つかの応用システムの実現方法とその評価について述べた。第4章では、もっとも基本的なコミュニケーション手段

である電子メールについて、緊急メールへの対応を行うインテリジェントメールシステムについて述べた。第5章では、ネットワーク上の異種情報を統合するシステムの実現例として、位置をキーとした情報統合システム、インテリジェントページとモバイルインフォサーチについて、仲介エージェントによる実現方式を明らかにし、実験によって有効性を確認した。第6章では、より深いコミュニケーション形態である協調活動の支援について取り上げた。地域や時間に限定されないネットワークコミュニティの支援を対象とし、人と人との間の興味の近さを視覚化することで、コミュニティの形成を支援する **Community Organizer** と、ネットワーク上での議論の状況を視覚的に表示することで、コミュニティの活動を支援する **CommunityBoard** の2つシステムを試作して、ネットワークコミュニティに対するエージェント通信の適用方法を示した。

第7章では第4章から第5章までの成果を踏まえて、これらのエージェント通信サービスが社会的にどのように受け入れられるかを検証する実証実験を行った。国際会議というコミュニティに対して、携帯端末によるモバイルコンピューティングサービスを提供し、様々な情報サービスの利用状況を通信ログから分析した。その結果、国際会議の進行と情報サービスの利用に相関関係があることが明らかになり、国際会議という小さなコミュニティではあるが、エージェント通信が社会的に受け入れられる可能性を示した。

表 8.1に本研究の到達点と今後の課題をまとめる。エージェント通信に関する研究はまだ緒についたばかりであり、今後さらなる研究の積み重ねが必要である。特に、トップダウンに検討したエージェント通信システムのアーキテクチャに対して、他の研究を含めた応用システムからのフィードバックによる検証と再検討が大きな課題である。

8.2 エージェント通信の発展に向けて

本論文では、ネットワークを介したコミュニケーションを広くとらえてネットワーク上の社会活動であると規定し、その円滑な実現には情報技術による支援が不可欠であると主張している。そのために、知的なソフトウェアの集合としてのエージェントシステムによるアーキテクチャを提案した。ネットワーク社会の不均質性でダイナミックな特性に対応するためには、エージェントによる実現が有効であることは容易に想像がつくが、一方でエージェント技術そのものが発展途上であることから、統一的なコンセプトとアーキテクチャに基づく

表 8.1 本研究の到達点と今後の課題

研究項目	試作システム	エージェントによる コミュニケーション支援	エージェント通信システム の機能	残された課題
エージェント通信 アーキテクチャの 提案	—	・エージェントによるコミュニケーション支援のコンセプトを提案し、幾つかの応用システムの試作によって有効性を示した	・パーソナルエージェント、仲介エージェント、サービスエージェントによる3層アーキテクチャを提案した	・応用システムからのフィードバックによるエージェント通信システムのアーキテクチャの確立 ・エージェント通信基盤に対する要求条件および実現方法の検討
情報伝達の支援	・Intelligent Mail	・パーソナルエージェントと仲介エージェントの協調による情報伝達の手段の調整が可能であることを示した	・パーソナルエージェントと仲介エージェントの協調によるサービス実現の一例を示した ・モバイルエージェントの—利用 方法を示した	・情報伝達の支援における課題の整理とそれに対するエージェント通信システムのアーキテクチャの検討
情報統合の支援	・Intelligent Pages ・Mobile Info Search	・仲介エージェントによりネットワーク上に散在している情報を統合してユーザに提示することが可能であることを実証した ・パーソナルエージェントにより、ユーザの検索要望の同定が可能であることを確認した	・情報統合(サービス統合)においてはオントロジが必須であり、イエローページおよび位置指向Web探索ロボットによる実現方法を提案してその有効性を実証した ・上記オントロジをパーソナルエージェントが共用することで、ユーザの要求に基づく検索が適切に行えることを示した	・イエローページや位置情報以外に基づく情報統合方法の検討 ・サービス統合の支援に対する検討
協調活動の支援	・Community Organizer ・Community Board	・人々の興味の近さを視覚化することでコミュニティの形成を支援可能であることを示した ・議論の状況を視覚化することによってコミュニティの活動を支援する方法を示した	・コミュニケーションの支援の一つの方法としてパーソナルエージェントによる状況の視覚化の有効性を示した ・パーソナルエージェントによるユーザ情報の学習方法を示した。またエージェントの協調による学習の効率化方法を示した	・より広い範囲での協調活動支援方法の検討 ・コミュニティに対する仲介エージェントの実現方法の検討 ・パーソナルエージェントと仲介エージェントの協調方法の検討
実証実験	・ICMAS96 Mobile Assistant	・エージェント通信サービスが現実の社会で受け入れられる可能性を示した	・コミュニケーションの支援機能を評価するための社会的実験の手法を明らかにした ・モバイル通信でのエージェント機能の導入対象を見出した	・エージェント通信サービスに関する社会的実験の積み重ね

インフラストラクチャの構築は簡単ではない。しかし、今後誰もがネットワーク社会の便益を享受し、豊かな社会生活を送れるようになるためには、エージェント通信の発展が欠かせないと考える。

今後の課題として、提案したアーキテクチャに基づくエージェントシステムの有効性の社会的実験による確認を継続し、アーキテクチャへのフィードバックをはかることが必要である。さらに、次の課題として、現実社会との融合があげられる。これまでの研究はネットワーク上の仮想社会の活動を支えるエージェント技術という視点で進めてきたが、今後さらに一歩進めて、現実社会との融合を考える。既に研究が進んでいるデジタルシティへの応用等を通じて、現実社会のコミュニティと仮想社会のコミュニティとの間のコミュニケーションを支援するエージェント技術の可能性を追求していきたい。

謝辞

指導教官の石田亨教授には、京都大学大学院情報学研究科博士後期課程在学中を含め、本研究の開始から終始懇切丁寧なご指導、ご教示を賜りました。ここに謹んで感謝の意を表します。

京都大学大学院情報学研究科 上林弥彦教授にはアドバイザーおよび調査委員として多くの貴重なご指導、ご助言を賜りました。また、同片井修教授には調査委員としての確かなご指摘と有益なコメントをいただきました。東北大学電気通信研究所白鳥則郎教授にはアドバイザーになっていただき、研究の要所で貴重なご指導、ご助言をいただきました。厚くお礼申し上げます。

本研究を開始する機会をいただき、また多くのご指導をいただいた **NTT** 情報通信処理研究所、コミュニケーション科学研究所の皆様には感謝いたします。故 村上国男博士（元 **NTT** 情報通信処理研究所知識処理研究部長）、同志社大学工学部知識工学科河岡司教授（元 **NTT** コミュニケーション科学研究所長）、**NTT** アドバンステクノロジー 松田晃一常務（元 **NTT** コミュニケーション科学研究所長）、**NTT** ソフトウェア 坂間保雄理事（元 **NTT** 情報通信処理研究所知能処理研究部長）には深く感謝いたします。

本研究は多くの共同研究者に支えられています。**NTT** 西日本法人営業本部 森原一郎部長（元 **NTT** 情報通信処理研究所グループリーダ）、**NTT** 情報流通プラットフォーム研究所 高橋克巳主任研究員、**NTT** コミュニケーションズ 西部喜康担当課長（元 **NTT** 情報通信処理研究所）、**NTT** コミュニケーション科学基礎研究所 吉田仙研究主任、同松原繁夫研究主任、同大黒毅研究主任、横尾真特別研究員をはじめとする多くの皆様に感謝いたします。また、実証実験を含め、有益な御助言、御討論をいただいた、東京大学 西田豊明教授、国立情報学研究所 武田英明博士、大阪市立大学 村上晴美講師、立命館大学 西村俊和助教授、京都大学 八槨博史博士に深謝いたします。

本研究を進めるにあたり、暖かいご支援をいただいた**NTT**ソフトウェア 鶴保征城社長、細谷僚一常務、理化学研究所 吉田清氏（元 **NTT** ソフトウェア理事）に御礼申し上げます。最後に、本研究に理解を示し、研究生活を支えてくれた家族に感謝します。

研究発表一覧

【著書】

- [1] 服部文夫, 坂間保雄, 森原一郎: わかりやすいエージェント通信, オーム社, 1998.
- [2] 寺野隆雄, 木下哲男, 服部文夫, 他共著, (財)日本情報処理開発協会編: 情報ネットワーク社会の未来—サイバー社会を創る知的情報技術—, 富士通経営研修所, 1997.
- [3] 木下哲男, 菅原研次, 服部文夫, 他共著, エージェントの作り方, 電子情報通信学会, 2001.

【学術論文】

- [1] Hattori, F., Ohguro, T., Yokoo, M., Matsubara, S., and Yoshida, S.: Socialware: Multiagent Systems for Supporting Network Communities, Communications of ACM, Vol.42, No.3, pp.55-61, 1999.
- [2] Hattori, F., Ohguro, T., Yokoo, M., Matsubara, S., and Yoshida, S.: Supporting Network Communities with Multiagent Systems, in Ishida, T. (Ed.) Community Computing and Support Systems, pp.330-341, Springer-Verlag, 1998.
- [3] Ishida, T., Nishida, T., and Hattori, F.: Overview of Community Computing, in Ishida, T. (Ed.), Community Computing: Collaboration over Global Information Networks, John Wiley and Sons, pp. 1-12, 1998.
- [4] Nishibe, Y., Morihara, I., Hattori, F., Nishimura, T., Yamaki, T., Ishida, T., Maeda, H., and Nishida, T.: Mobile Digital Assistants for International Conferences, in Ishida, T. (Ed.), Community Computing: Collaboration over Global Information Networks, John Wiley and Sons, pp. 245-284, 1998.
- [5] 石田亨, 西村俊和, 八槇博史, 後藤忠広, 西部喜康, 和氣弘明, 森原一郎, 服部文夫, 西田豊明, 武田英明, 沢田篤史, 前田晴美: モバイルコンピューティングによる国際会議支援, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.10, pp.2855-2865, 1998.
- [6] Nishibe, Y., Waki, H., Morihara, I., Hattori, F., Ishida, T., Nishimura, T., Yamaki, H.,

Komura, T., Itoh, N., Gotoh, T., Nishida, T., Takeda, H., Sawada, A., Maeda, H., Kajihara, M., and Adachi, H.: Mobile Digital Assistants for Community Support, AI magazine, Vol.19, No.2, pp.31-49, 1998.

- [7] 西部喜康, 和氣弘明, 森原一郎, 服部文夫: モバイル環境下でのユーザの振舞いの解析とエージェント通信への適用法の検討, 電子情報通信学会論文誌, D-I, Vol.J81-D-I, No.5, pp.523-531, 1998.
- [8] Takahashi, K., Nishibe, Y., Morihara, I., and Hattori, F.: Intelligent Pages: Collecting Shop and Service Information with Software Agents, Applied Artificial Intelligence, Vol.11, pp.489-499, 1997.
- [9] 和氣弘明, 村山隆彦, 服部文夫: ネットワーク資源割当問題向き協調問題解決手法, 情報処理学会論文誌, Vol.37, No.3, pp.324-332, 1996.
- [10] Kaneda, S., Ishii, M., Hattori, F., and Kawaoka, T.: INTERFACER: A User Interface Tool for Interactive Expert-Systems, Decision Support Systems, Vol.18, pp.107-115, 1996.

【国際会議(査読付き)】

- [1] Takahashi, K., Nishibe, Y., Morihara, I., and Hattori, F.: Collecting Shops and Services Information with Software Agents, Proc. of the First International Conference and Exhibition on the Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agents, pp.587-596, 1996.
- [2] Nishibe, Y., Waki, H., Morihara, I., and Hattori, F.: Analyzing Social Interactions in Massive Mobile Computing - Experiments of ICMAS'96 Mobile Assistant Project -, Workshop Notes of IJCAI'97 Workshop on Social Interaction and Communityware, pp.19-24, 1997.
- [3] Ueno, I., Yoshida, S., Kuwabara, K., and Hattori, F.: Supporting Social Activities with Agents: Proposal for Multi-Agent Service Integration, Workshop Notes of IJCAI'97 Workshop on Social Interaction and Communityware, pp.53-62, 1997.
- [4] Hattori, F., Ohguro, T., Yokoo, M., Matsubara, S., and Yoshida, S.: Supporting Network Communities with Multiagent Systems, Proc. of First Kyoto Meeting on Social Interaction and Communityware, 1998.

- [5] Yoshida,S., Kamei,K., Yokoo,M., Ohguro,T., Funakoshi,K. and Hattori,F.: Community Visualizing Agents, Proc. of the Third International Conference and Exhibition on the Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agents, pp.643-644, 1998.
- [6] Yoshida,S., Kamei,K., Yokoo,M., Ohguro,T., Funakoshi,K. and Hattori,F.: Visualizing Potential Communities: A Multiagent Approach, Proc. of Third International Conference on Multi-Agent Systems, pp.477-478, 1998.
- [7] Yoshida,S., Kamei,K., Yokoo,M., Ohguro,T., Funakoshi,K. and Hattori,F.: Visualizing Potential Communities, Proc. of 1st International Workshop on Agents in Community Ware, pp.100-113, 1998.
- [8] Matsubara,S., Ohguro,T., and Hattori,F.: CommunityBoard: Social Meeting System able to Visualize the Structure of Discussions, Proc. of Second International Conference on Knowledge-based Intelligent Electronic Systems, pp.423-428, 1998.
- [9] Matsubara,S., Ohguro,T., and Hattori,F.: CommunityBoard2: Mediating between Speakers and an Audience in Computer Network Discussions, Proc. of the Third Int. Conf. on Autonomous Agents (Agents-99), pp.370-371, 1999.
- [10] Sato,M., Watanabe,S., Tajima,H., and Hattori,F.: A Proposal for Computer-aided Knowledge Refinement, Proc. of WCES'96, 1996.
- [11] Murayama,T. and Hattori,F.: Adaptive Architecture for Flexible Information Systems, Proc. of 13th World Computer Congress, Vol.1, pp.157-162, 1994.
- [12] Waki,H., Murayama,T., and Hattori,F.: Cooperative Problem Solving Suited for the Network Resource Allocation, Proc. of EXPERSYS-94, 1994.
- [13] Uchihashi,T., Murayama,T., Tsuchida,H., and Hattori,F.: Knowledge-based Approach for Adaptive Network Service Design, Proc. of JKJCES94, pp.213-217, 1994.
- [14] Kaneda,S., Ishii,M., Hattori,F., and Kawaoka,T.: An Intelligent Interfacer for Interactive Expert Systems, Proc. of JKJCES94, pp.133-138, 1994.
- [15] Furuya,H. and Hattori,F.: Knowledge Acquisition System for Hierarchical Classification Problems, Proc. of COMPCON Spring, pp.402-407, 1989.
- [16] Hattori,F., Kushima,K., and Wasano,T.: A Comparison of LISP, PROLOG, and ADA Programming Productivity in AI Area, Proc. of ICSE, pp.285-291, 1985.

【国内会議(査読付き)】

- [1] 吉田仙, 亀井剛次, 横尾真, 大黒毅, 船越要, 服部文夫: 潜在的なコミュニティの可視化, 第6回マルチエージェントと協調計算ワークショップ(MACC'97), 1997.
- [2] 松原繁夫, 大黒毅, 服部文夫: コミュニティを対象とした語らい支援システム, 第6回マルチエージェントと協調計算ワークショップ(MACC'97), 1997.
- [3] 松原繁夫, 大黒毅, 服部文夫: CommunityBoard2: 話者と聴衆を取り持つ語らい支援システム, 第7回マルチエージェントと協調計算ワークショップ(MACC'98), 1998.
- [4] 亀井剛次, 吉田仙, 大黒毅, 服部文夫: Community Organizer: ネットワークコミュニティの形成支援, ヒューマンインタフェースシンポジウム'99 論文集, pp.333-336, 1999.
- [5] 松原繁夫, 大黒毅, 服部文夫: CommunityBoard2: ネットワークコミュニティにおける語らい支援, ヒューマンインタフェースシンポジウム'99 論文集, pp.113-118, 1999.

【解説】

- [1] 服部文夫: エージェント通信技術の動向, 情報処理, Vol.39, No.11, pp.1118-1123, 1998.
- [2] 服部文夫: エージェント言語, コンピュータソフトウェア, Vol.14, No.4, pp.3-12, 1997.
- [3] 服部文夫: ネットワークエージェントによる情報の収集と流通, 情報処理, Vol.38, No.1, pp.30-35, 1997.

【研究会等(査読なし)】

- [1] 服部文夫: 知的コミュニケーションメディアの構築に向けて, 信学技報, AI-94-60, pp.33-39, 1995.
- [2] 服部文夫: 知的コミュニケーションメディアとしての Agent 通信環境, 信学技報, CS-94-214, pp.43-50, 1995.
- [3] 森原一郎, 篠原章夫, 服部文夫: モーバイルエージェントによる知的メールサービス

の実現, 信学技報, IN95-5/OFS95-41, pp.43-48 , 1995.

[4] 吉田仙, 亀井剛次, 服部文夫: インターネットにおけるコミュニティ形成支援, 信学技報, AI98-30, pp.69-76 , 1998.

[5] 亀井剛次, 吉田仙, 服部文夫: 潜在的なコミュニティを可視化するコミュニティ形成支援システム, 1998 年度人工知能学会全国大会, 1998.

[6] 松原繁夫, 大黒毅, 服部文夫: 語らい支援システム CommunityBoard2: 話者, 話題, 時間, 評判の統合表示, 1999年度人工知能学会全国大会予稿集, pp.167-170, 1999.

参考文献

[石田 95] 石田: エージェントを考える, 人工知能学会誌, vol.10, no.5, pp.663-667, 1995.

[Lashkari94] Lashkari, Y., Metral, M., and Maes, P.: Collaborative Interface Agents, Proc. of AAAI '94, 1994.

[Iida95] Iida, I., Nishigaya, T., and Murakami, K.: DUET: An Agent-based Personal Communications Network, IEEE Communications Magazine, Nov., pp.44-49, 1995.

[西ヶ谷 96] 西ヶ谷, 飯田: エージェント指向ネットワークアーキテクチャ DUET の提案, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J79-B-I, No.5, pp.216-225, 1996.

[インプレス 99] インターネット白書'99, インプレス, 1999.

[Lawrence99] Lawrence, S. and Giles, L.: Accessibility and Distribution of Information on the Web, 1999.

[林 96] 林: 探索ロボットに基づく WWW サーチエンジン, 1996 年電子情報通信学会情報・システムソサイエティ大会講演論文集, pp.580-581, 1996.

[MetaCrawler] <http://metacrawler.cs.washington.edu:8080/>.

[Lieberman95] Lieberman, H.: An agent that assists web browsing, Proc. of IJCAI-95, pp.924-929, 1995.

[Maes94] Maes, P.: Agents that Reduce Work and Information Overload, Communications of the ACM, Vol.37, No.7, pp.30-40, 1994.

[Armstrong95] Armstrong, R., Freitag, D., Joachims, T., and Mitchell, T.: Webwatcher: A learning apprentice for the world wide web, Proc. of the Symposium on Information Gathering from Heterogeneous, Distributed Environments, AAAI Press, 1995.

[Balabanovic95a] Balabanovic, M. and Shoham, Y.: Learning Information Retrieval Agents: Experiments with Automated Web Browsing, Proc. of the Symposium on Information Gathering from Heterogeneous, Distributed Environments, AAAI Press, 1995.

[Goldberg92] Goldberg, D., Nichols, D., Oki, B.M., Terry, D.: Using collaborative filtering to weave an information tapestry, CACM, Vol.35, No.12, 1992.

[Resnick94] Resnick, P., Iacovou, N., Sushak, M., Bergstrom, P., and Riedl, J.:

GroupLens: An open architecture for collaborative filtering of netnews, CSCW94, 1994.

[Shardanand95] Shardanand,U., and Maes,P.: Social information filtering: Algorithms for automating word of mouth, CHI95, 1995.

[Balabanovic95b] Balabanovic,M., Shoham,Y.: Fab: Content-based, collaborative recommendation, CACM, Vol.40, No.3, 1997.

[Kautz97] Kautz,H., Selman,B., and Shah,M.: Referral Web: Combining social networks and collaborative filtering, CACM, Vol.40, No.3, 1997.

[Etzioni94] Etzioni,O. and Weld,D.: A Softbot-Based Interface to the Internet, Communications of the ACM, Vol.37, No.7, pp.72-76, 1994.

[Doorenbos] Doorenbos,B., Etzioni,O., and Weld,D.: Shopbot, <http://www.cs.washington.edu/research/shopbot/>.

[Prkowitz95] Perkowitz,M. and Etzioni,O.: Category Translation: Learning to understand information on the Internet, Proc. IJCAI-95, pp.930-936, 1995.

[Knoblock94] Knoblock,C.A. and Arens,Y.: An Architecture for Information Retrieval Agents, AAAI Spring Symposium on Software Agents, 1994.

[Decker95] Decker,K., Lesser,V., NagendraPrasad,M.V., and Wagner,T.: An Architecture for Multi-agent Cooperative Information Gathering, Proc. CIKM Workshop on Intelligent Information Agents, 1995.

[BargainFinder] BargainFinder: <http://bf.cstar.ac.com/bf/>.

[alanko94] Alanko,T., Kojo,M, Laamanen,H., Liljeberg,M, Moilanen,M., and Raatikainen,K.: Measured Performance of Data Transmission over Cellular Telephone Networks, Computer Communications Review, Vol.24, No.5, pp.24-44, 1994.

[CCCI96] サイバー社会基盤研究推進センター(CCCI), 慶應義塾大学/野村総合研究所編著:サイバー社会の展望, 野村総合研究所, 1996.

[ラインゴールド 95] ラインゴールド著, 会津訳:バーチャルコミュニティ, 三田出版会, 1995.

[Fox93] Fox,M.S. et.al.: The Integrated Supply Chain Management System, Internal Report, Department of Industrial Engineering, University of Toronto, 1993.

[Barbuceanu94] Barbuceanu,M., Fox,M.S.: The Information Agent: An Infrastructure for Collaboration in the Integrated Enterprise, Proc. of CKBS94, pp257-294, 1994.

[Barbuceanu96] Barbuceanu,M., Fox,M.S.: Capturing and Modeling Coordination

Knowledge for Multi-agent Systems, International Journal on Cooperative Information Systems, Vol.5, No.2&3, pp.275-314, 1996.

[Beck94] Beck,C., Fox,M.S.: Supply Chain Coordination via Mediated Constraint Relaxation, Proc. of 1st Canadian Workshop on Distributed Artificial Intelligence, 1994.

[西田 93] 西田:知識コミュニティ, 北野宏明(編):グランドチャレンジャー人工知能の大きな挑戦-, pp.176-189, 共立出版, 1993.

[西田 94] 西田:知識コミュニティ, 1994年度人工知能学会全国大会論文集, pp.77-80, 1994.

[武田 94] 武田, 飯野, 西田:知識コミュニティにおける仲介機能, マルチエージェントと協調計算 III, pp.49-58, 近代科学社, 1994.

[西田 95] 西田, 武田:知識コミュニティプロジェクト(第2報)ーオントロジーに基づくアプローチ-, 1995年度人工知能学会全国大会論文集, pp.371-374, 1995.

[西田 96] 西田, 武田:知識コミュニティプロジェクト(第3報), 1996年度人工知能学会全国大会論文集, pp. -, 1996.

[西田 97] 西田, 武田:知識コミュニティプロジェクト(第4報), 1997年度人工知能学会全国大会論文集, pp. 336-339, 1997.

[武田 97] 武田, 岩田, 鷹合, 沢田, 西田:共有知識に基づく実世界エージェントの協調機構, 1996年度人工知能学会全国大会論文集, 1996.

[前田 97] 前田, 梶谷, 西田:連想構造を用いた情報整理システム, 情報処理学会論文誌, Vol.38, No.3, 1997.

[岩爪 97] 岩爪, 白神, 畑谷, 武田, 西田:オントロジーに基づく広域ネットワークからの情報収集・分類・統合化, 情報処理学会論文誌, Vol.38, No.3, 1997.

[前田 97] 前田, 梶原, 足立, 沢田, 武田, 西田:InfoCommon:コミュニティにおける情報共有の支援 -ICMAS96 Mobile Assistant Project 情報共有サービス-, 第54回情報処理学会全国大会論文集, 1W-08, 1997.

[Takahasi00] Takahashi, K., Miura, N., Yokoji, S., and Shima, K.: Mobile Info Search: Information Integration for Location-Aware Computing, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.4, pp.1192-1201, 2001.

[高橋 99a] 高橋克巳:モバイル環境下での情報収集を支援するエージェント, 人工知能学会誌, Vol.14, No.4, pp.590-597, 1999.

[高橋 99b] 高橋克巳, 寺岡文男, 小橋喜嗣:高機能化携帯電話によって提案される新

規社会情報基盤, 情報処理, Vol.40, No.6, pp.610-614, 1999.

[北村 99] 北村:インターネット上での知的情報統合, 人工知能学会誌, Vol.14, No.1, 1999.

[Neches91] Neches,R., Fikes,R. Finin,T., Gruber,T., Patil,R, Senator,T., and Swartout, W.: Enabling technology for knowledge sharing, AI Magazine, Vol.12, No.3, 1991.

[Finin94a] Finin,T., Fritzson,R., McKay,D., and McEntire,R.: KQML as an Agent Communication Language, CIKM'94, ACM Press, 1994.

[Finin94b] Finin,T. and Fritzson,R.: KQML – A Language and Protocol for Knowledge and Information Exchange, Proc. of 13th Intl. Distributed Artificial Intelligence Workshop, pp.127-136, 1994.

[桑原 96] 桑原和宏, 石田亨, 大里延康: AgentTalk: マルチエージェントシステムにおける協調プロトコル記述, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J79-B-I, No.5, pp.346-354, 1996.

[Ohtsubo98] Ohtsubo,R., Takahashi,K., Nishibe,Y. and Morihara,I.: Action Navigator: An Information Service Based on Agent-Communication for Supporting Decision Making, PAAM-98, 1998.

[Maeda97] Maeda,H., Kajihara,M., Adachi,H., Sawada,A., Takeda,H. and Nishida,T.: Weak Information Structures for Community Information Sharing, International Journal of Knowledge-Based Intelligent Engineering Systems, Vol.1, No.4, 1997.

[Nishimura98] Nishimura,T., Yamaki,H., Komura,T. Itoh,N., Gotoh,T. and Ishida,T.: Community Viewer: Visualizing Community Formation on Personal Digital Assistants, ACM SAC'98, 1998.

[Niwano97] Niwano,E., Okamoto,K., Sakanoue,K., Otaka,H., Katsumata,M., and Maeda, K.: Evaluation of Large-scale Mobile Multimedia Communication System built on Telescript Agent Platform – The Paseo Service, Proc. of IEEE Multimedia 97, 1997.

[Chalmers92] Chalmers,M. and Chitson,P.: Bead: Exploration in information visualization, in Belkin,N., Ingwersen,P., and Pejtersen,A.M. (eds.), Proc. of the 15th ACM SIGIR, pp.330-337, 1992.

[Kamei01] Kamei,K., Jettmar,E., Fujita,K., Yoshida,S., and Kuwabara,K.: Community Organizer: Supporting the Formation of Network Communities through Spatial Representation, SAINT-2001 (to appear).

[Yoshida00] Yoshida, S., Ohguro, T., Kamei, K., Funakoshi, K., and Kuwabara, K.: A Platform for Making Network Community Support Systems in a Cooperative Distributed Architecture, ICPADS 2000 Workshop, pp.441-446, 2000.

[亀井 00] 亀井剛次, Jettmar,E., 藤田邦彦, 吉田仙, 桑原和宏:ネットワーク上のコミュニティ形成を支援するシステム”Community Organizer”の実装と評価実験, 情処研究報告, 2000-GW-35, Vol.2000, No.26, pp.43-48, 2000.